CONSEIL INTERNATIONAL DES UNIONS SCIENTIFIQUES

SIXIÈME RAPPORT

DE LA COMMISSION POUR L'ÉTUDE

DES

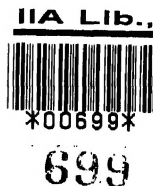
RELATIONS ENTRE LES PHÉNOMÈNES SOLAIRES ET TERRESTRES

ORLÉANS

IMPRIMERIE NOUVELLE

8 *ter*, Faubourg-Madeleine

—

1948

SIXIÈME RAPPORT DE LA COMMISSION POUR L'ÉTUDE DES RELATIONS ENTRE LES PHÉNOMÈNES SOLAIRES ET TERRESTRES

INTRODUCTION

Depuis la publication, en 1939, de notre cinquième rapport, jusqu'à l'Assemblée générale du Conseil international des Unions scientifiques, qui s'est tenue à Londres du 22 au 24 juillet 1946, la composition de la Commision est restée inchangée.

Nous avons eu malheureusement à déplorer la perte d'un de ses membres les plus éminents, le Professeur Charles Fabry, décédé le 11 décembre 1945 après une longue et douloureuse maladie. Quelques mois auparavant, son état de santé l'avait obligé à abandonner la présidence du Comité exécutif du C. I. U. S. Nommé membre de notre Commission en 1931, il portait un intérêt constant à ses travaux et, malgré les activités multiples entre lesquelles il partageait son temps, il a écrit pour nos rapports successifs différentes notes sur la luminosité du ciel nocturne, sur les méthodes pour l'étude des variations du rayonnement solaire, sur l'absorption de ce rayonnement dans l'ultraviolet par l'ozone de la haute atmosphère. Sa maladie et sa mort ont seules empêché que cette liste fût plus longue.

Après l'Assemblée du C. I. U. S. de juillet 1946, notre Commission est devenue Commission mixte des Unions internationales d'Astronomie, de Géodésie et Géophysique, et Radio scientifique. Elle n'a été définitivement reconstituée que vers la fin de l'année, les Unions intéressées ayant dû, au préalable, désigner les membres qui devaient les représenter.

Voici la liste de ces membres :

Désignés par l'U. A. I. :

H. DESLANDRES (membre honoraire), C. G. ABBOT, G. ABETTI, L. D'AZAMBUJA (Président provisoire), H. W. NEWTON, S. B. NICHOLSON, M. WALDMEIER.

Désignés par l'U. G. G. I. :

S. CHAPMAN, J. A. FLEMING, F. W. P. GÖTZ, R. JOUAUST, M. NICOLET, O. R. WULF.

Désignés par l'U. R. S. I. :

Sir EDWARD APPLETON, R. BUREAU, J. H. DELLINGER, D. H. MENZEL.

Deux tâches également urgentes s'offraient à la Commission :

1° Publier, aussitôt que possible, un nouveau rapport qui rende compte, d'une façon substantielle, des progrès accomplis pendant et depuis la guerre dans les diverses disciplines qui relèvent de son activité, progrès souvent mal connus par suite de la difficulté des échanges de publications au cours de ces dernières années ;

2° En accord avec les recommandations émises par l'Assemblée restreinte de l'U. A. I., tenue à Copenhague en mars 1946, et par le Congrès de l'U. R. S. I. (Paris, septembre 1946), examiner, avec les Commissions 10 et 11 de l'U. A. I., la possibilité de mettre rapidement à jour et de développer la publication et la diffusion des informations sur les phénomènes de l'activité solaire susceptibles d'intéresser les Géophysiciens et les Radioélectriciens.

Grâce à l'empressement avec lequel les membres de la Commission et les divers chercheurs sollicités ont répondu à la demande qui leur était faite, 42 communications, couvrant l'ensemble des problèmes qui se rapportent aux relations entre le Soleil et la Terre, ont pu être réunies (1). Comme pour les rapports précédents, elles forment l'essentiel du rapport actuel. On les trouvera dans les pages qui suivent où, pour la facilité de la lecture, elles ont été réparties en sept rubriques :

1. *Étude intrinsèque des phénomènes solaires. Source et analyse des divers rayonnements de l'astre.*

---

(1) La Commission n'est pas collectivement responsable des opinions exprimées dans ces communications.

2. *Problèmes variés concernant les relations entre le Soleil et la Terre.*

3. *Action du rayonnement électromagnétique sur la propagation des ondes radio-électriques. Structure de l'ionosphère.*

4. *Rayonnement corpusculaire et perturbations magnétiques. Géomagnétisme.*

5. *Étude optique de la haute atmosphère terrestre. Aurores polaires.*

6. *Rayons cosmiques.*

7. *Centralisation et publication des documents sur le Soleil pouvant intéresser les Géophysiciens.*

Signalons, sous la première rubrique, plusieurs notes se rapportant à l'étude du rayonnement solaire de fréquence radioélectrique (solar noises) récemment découvert. Sous les rubriques 1 et 2, divers memoranda relatifs à l'influence de la couronne sur certains phénomènes terrestres; cette recherche, inabordable jusqu'à ces dernières années, faute d'indications suffisantes sur l'activité de la couronne, tend à prendre une grande importance grâce au développement systématique de l'observation, en dehors des éclipses, de cette partie de l'atmosphère de l'astre, à l'aide du procédé inauguré par B. Lyot. Les études sur la structure de l'ionosphère, dont le programme et les résultats sont groupés sous la troisième rubrique, apparaissent elles aussi en plein essor par suite, notamment, des nécessités de la guerre qui, en imposant la multiplication des stations d'observation, ont enrichi la documentation et favorisé le développement de procédés nouveaux d'investigation.

En ce qui concerne l'étude optique de la haute atmosphère et les aurores polaires, M. M. Nicolet s'est chargé de faire une mise au point générale des résultats obtenus au cours des dernières années (1). De son côté, M. J. Dufay a exposé les recherches effectuées depuis 1940 à l'Observatoire de Lyon et à celui de Haute-Provence. Ces deux mises au point ont été placées en tête du cinquième paragraphe; elles sont suivies des memoranda sur les travaux personnels des divers auteurs.

La dernière rubrique se réfère à la seconde des questions que nous avons indiquée plus haut comme devant être examinée

(1) Dans la bibliographie qui suit cette mise au point, nous avons cru devoir maintenir, pour la commodité de la lecture, les références répétées d'autre part, dans les notes particulières de certains auteurs.

et résolue rapidement par la Commission. A ce titre, il nous paraît nécessaire d'exposer, dans cette introduction, l'état actuel de la mise à jour des documents sur l'activité solaire publiés dans le « Quarterly Bulletin » et comment les recommandations de l'U. A. I. et de l'U. R. S. I. vont pouvoir, dans un avenir prochain, être en partie satisfaites.

Dans son Assemblée restreinte de Copenhague, la première de ces Unions avait décidé :

1° « That the form of the *Quarterly Bulletin* should be modified as follows. The characteristic numbers should be dropped, except only the sunspot number. That the question be referred to Commission 11 of the I. A. U. of adding as soon as can be arranged to the daily record details of coronal phenomena, radio noises of solar origin, and the luminescence of the night sky, and of securing a better index of prominence activity than the present one. That the details of solar eruptions continue to be published as at present, and that the President of Commission 11 arrange for the details of the publication during the transition stages, 1945 onwards.

2° « That Commission 11 be also asked to study the question of the prediction of terrestrial phenomena of solar origin and the determination of zones of activity on the Sun's disc. That the Commission also be reminded of the importance of arranging when possible for a continuous cinematographic study of the Sun from stations spaced round the globe. »

De son côté, l'U. R. S. I., dans son Assemblée générale tenue à Paris en septembre 1946, avait émis la résolution suivante :

« L'interprétation des enregistrements ionosphériques, la prévision des perturbations dans les communications radiophoniques, et une compréhension complète des phénomènes physiques dans l'ionosphère dépendent d'une information détaillée sur l'activité solaire. Pour ces raisons, l'U. R. S. I. désire souligner l'importance des études solaires dans toutes les phases comprenant la photographie directe, et les études spectrographiques de la couronne, des protubérances, des taches, des facules, des flocculi, et des granulations solaires.

« La réalisation d'un programme mondial d'études solaires, tel que celui recommandé par l'Assemblée de l'Union astronomique internationale tenue à Copenhague en mars dernier, et comportant notamment l'enregistrement photographique ininterrompu

de l'activité solaire, à des intervalles de 30 à 60 secondes pour une étude cinématographique ultérieure, serait d'une grande assistance dans les problèmes d'analyse ionosphérique. L'attention des Gouvernements représentés à l'U. R. S. I. est attirée sur la valeur pratique des recherches solaires ; en plus, il est recommandé de donner toute assistance possible aux études solaires et aux recherches dans le champ plus vaste des relations solaires-terrestres. »

Au moment où les décisions de l'Assemblée de Copenhague sont intervenues, les dernières observations insérées au *Quarterly Bulletin*, dont la publication avait été interrompue en 1942, par suite de la suspension des communications postales avec la plupart des pays auxquels appartiennent les observatoires participants, se rapportaient à l'année 1941. Après la guerre, un seul numéro a réuni les observations des trois années 1942, 1943 et 1944 ; il a été distribué vers le milieu de 1946. Les présidents des Commissions 10 et 11 de l'U. A. I. et le Directeur de l'Observatoire de Zurich, qui édite le Bulletin, se sont alors entendus pour que les nombres caractéristiques en soient supprimés à partir de 1944, année où s'est produit justement le minimum d'activité solaire. Un numéro de transition, contenant seulement les nombres de Wolf et les listes d'éruptions, réunirait les observations de 1945 et 1946. A partir de 1947, le Bulletin reprendrait sa périodicité trimestrielle et donnerait, sous une forme provisoire qui devrait être reconsidérée au prochain Congrès de l'U. A. I., les intensités de la couronne, de 5° en 5° autour du disque, autant que possible pour les raies verte, jaune et rouge, d'après les résultats obtenus à Arosa, à Climax, au Pic du Midi et au Wendelstein ; il donnerait également les caractères remarquables du rayonnement solaire de fréquence radioélectrique, à l'aide des observations du Laboratoire Cavendish, de l'Université de l'Australie occidentale et de l'Observatoire de Canberra. Il est clair que cette liste d'établissements n'est pas limitative et qu'un plus grand nombre de collaborations serait hautement désirable.

Les questions relatives à la luminescence du ciel nocturne et à l'élaboration d'un meilleur indice pour caractériser l'activité des protubérances ont été provisoirement réservées. A certains égards, la première relève moins d'un Bulletin consacré jusqu'ici à la publication des caractères de phénomènes spécifiquement solaires, que d'un organe de documentation sur la haute atmos-

phère terrestre. Quant à la seconde, il semble difficile de lui donner une solution sans qu'elle ait, au préalable, fait l'objet d'une discussion approfondie au sein de la Commission compétente de l'U. A. I.

Le fascicule transitoire du Bulletin (années 1945 et 1946) a été distribué en juillet 1947. La préparation du premier fascicule de 1947, comportant les additions, a été achevée en septembre. Sa parution est prochaine.

Notons que, parallèlement, divers Bulletins nationaux d'information sur l'ionosphère ont commencé à donner des renseignements sur l'activité solaire. Il y a lieu de citer, notamment, les *Ionospheric Data*, publiées par le *Central Radio Propagation Laboratory* (C. R. P. L.) de Washington, où l'on trouve les intensités de la couronne observées à Climax ; le *Bulletin d'information du Laboratoire national de Radioélectricité* (*Bureau ionosphérique français*) qui donne les éruptions chromosphériques signalées par Meudon ; les *Observations ionosphériques et solaires*, groupant les caractères principaux de l'activité de l'astre (surface, chromosphère et couronne) d'après les résultats obtenus dans les observatoires allemands des zones d'occupation américaine et française, et publiées par les services de la Marine française.

Les phénomènes terrestres visés par la deuxième résolution de l'assemblée de Copenhague étaient essentiellement les perturbations ionosphériques à début brusque, étroitement associées, comme l'on sait, aux éruptions chromosphériques. Or, on sait aussi que les éruptions se produisent à peu près toujours dans les régions du disque solaire où se trouvent des centres d'activité (taches, facules et plages faculaires) et pendant la phase de croissance de ces centres. Prédire l'apparition probable d'éruptions chromosphériques revenait donc, dans une large mesure, à annoncer la formation de centres d'activité nouveaux. Pour être efficace, une telle annonce devait être transmise immédiatement ou, au plus tard, le lendemain de l'apparition des centres. Dans les conditions actuelles des transmissions d'observatoire à observatoire, elle ne pouvait donc dépendre de la coopération entre plusieurs établissements.

Le Président de la Commission 11 de l'U. A. I. a alors proposé au Directeur du Bureau ionosphérique français qui, depuis le 19 mai dernier, fait radio-diffuser chaque jour un message du type « ursigramme » relatif aux perturbations ionosphériques à début brusque, de joindre à ce message un Bulletin de rensei-

gnements sur l'activité solaire établi d'après les seules observations effectuées au spectrohéliographe et au spectrohélioscope de l'Observatoire de Meudon, et comportant essentiellement des indications sur la position, l'âge et l'importance des centres d'activité présents sur le disque de l'astre. Le Bulletin serait complété par l'annonce de la disparition brusque de protubérances, que certains auteurs ont parfois associée à des perturbations du champ magnétique terrestre, par celle des éruptions chromosphériques observées à Meudon (1) et, éventuellement, par des données sur l'intensité de la couronne, d'après les observations du Pic du Midi (voir, pour plus de détails, la note particulière de M. d'Azambuja, p. 211 du présent Rapport). La proposition ayant été acceptée, le nouveau message a été diffusé à partir du 1er juin.

D'autre part, l'Observatoire d'Utrecht avait émis le vœu, en 1946, que les éruptions chromosphériques d'importance exceptionnelle, comme on en observe peut-être quatre ou cinq par an en période d'activité, et qui paraissent particulièrement susceptibles de provoquer, avec un retard d'une trentaine d'heures, des orages magnétiques et autres phénomènes concomitants, soient signalées télégraphiquement par l'Établissement qui les aurait observées au centre de Meudon, à charge pour celui-ci de faire retransmettre aussitôt l'information par radio-diffusion. Le nouveau message sur l'activité solaire était tout indiqué pour cette retransmission rapide et il a été convenu que toute éruption exceptionnelle signalée à Meudon y figurerait selon un code analogue à celui adopté pour les éruptions observées à Meudon même. Le message étant transmis à 20h06m (T. U.) sur ondes longues et sur ondes courtes, la nouvelle pourrait ainsi être reçue à peu près en tous les points du Globe dès la première nuit qui suivrait le phénomène.

Sauf en ce qui concerne cette dernière information, l'organisation adoptée est évidemment insuffisante. Le nombre annuel de jours d'observation, à Meudon, est de l'ordre de 230, en moyenne et, particulièrement en hiver, une semaine entière peut

(1) Bien que le nombre des éruptions décelées dans cet Observatoire soit, d'après les relevés de ces dernières années, environ le quinzième du nombre total observé par les établissements participant à l'organisation internationale, celui-ci étant lui-même peut-être inférieur au quart des éruptions qui se produisent réellement, cette donnée a été introduite dans le message comme pouvant avoir de l'intérêt dans certains cas particuliers.

ÉTUDE INTRINSÈQUE DES PHÉNOMÈNES SOLAIRES
SOURCE ET ANALYSE
DES DIVERS RAYONNEMENTS DE L'ASTRE

A NOTE ON THE SPECTRUM OF THE GREAT SOLAR FLARE OF 1946, JULY 25

by

M. A. Ellison

The development of this flare was followed at Sherborne with the combined spectroheliosope and spectrograph under the finest conditions of seeing.

When the flare was seen to be commencing at about 16.15 U. T., the usual routine was put into operation : this consisted of (i) visual sketches and measures of area made with the eye-end graticule of the spectrohelioscope ; (ii) measures of line-width on the bright Hα emission by means of the line-shifter ; and (iii) photographs of the spectrum in the first and second orders of the 13-foot grating spectrograph.

The curve of Hα line-width against time forms the most complete set of such measures during the course of a Class 3+ flare.

In its general characteristics this confirms previous series of measures made here upon lesser flares, some of which have already been published [1]. The most notable feature is the intense peak of 16 A. in the line-width which occured at 16.27 $\pm$ 1m., the brightness of the emission at this time exceeding 300 per cent (1) of the adjacent continuous spectrum. The duration of the peak cannot have exceeded 2 or 3 minutes, and it was followed by a slow decline lasting for at least 1 1/2 hours.

The shape of the curve appears to lend considerable support to the mechanism for flare production recently proposed by

---

(1) In view of the inevitable over-exposure of the plate on the centre of the bright emission, only a lower limit of intensity can be given.

Giovanelli [2]. In the initial stages of a flare we evidently have to deal with something in the nature of an electric « discharge » in the chromosphere; this begins catastrophically when a critical condition is established by the interaction of the crossed electric and magnetic fields, leading perhaps to the formation of an effectively conducting path for electrons in the neigh-

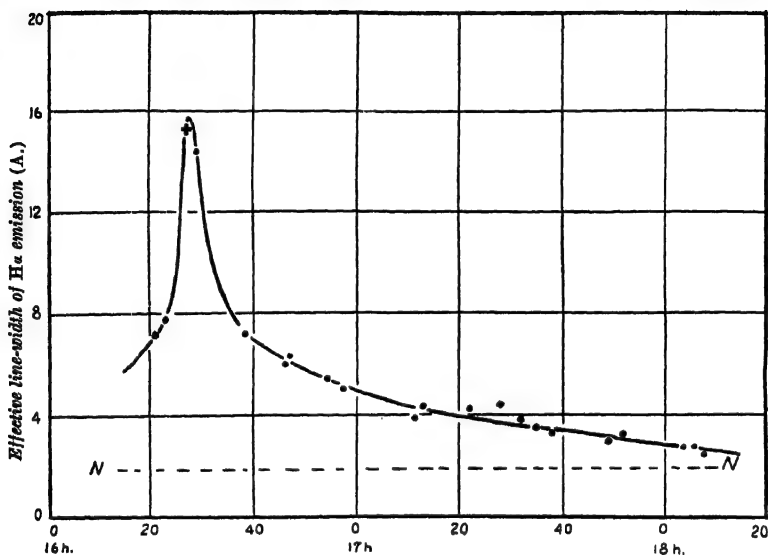



FIG. 1.

Changes in Line-width of the Hα emission during the Great Flare of 1946, July 25.

- • Visual measures with spectroheliosope.
- + Measured from spectrum, 16^h27^m.
- N, N Line-width of quiescent bright hydrogen.

bourhood of the sunspot. It is reasonable to suppose that the principal effect in visible wave-lengths of such a discharge would be an intense burst of emission, appearing, as we have observed, mainly in the lines of hydrogen; helium and some of the ionized metals. After the peak has passed, the continued emission observable in the lines of the more abundant elements, hydrogen and calcium, may be the result of recombination processes.

In the short-wave radio band there was a remarkable surge of radiation coinciding closely in time with that of the visible Hα

emission. As recorded by Lovell and Banwell [3], this reached a level of $10^8 \times$ the normal black body radiation at 4.1 metres wave-length between 16.24 and 16.27 1/2 U. T. A similar peak of unusual amplitude was also recorded by J. S. Hey [4] at a wave length of 4.7 metres, lasting from 16.24 till 16.32.

Seven spectrograms (λ 4750 - λ 6800) were secured at Sherborne [5] covering the period 16.24 to 17.15 U. T. The most interesting is that which was taken at 16.27, probably within one minute of the peak intensity of the flare. The following lines are shown in emission :

Identification	Wave-length	Width of emission	Remarks
	λ	A.	
He	6678.0	1.1	Blended with Fe 6678.
Hα	6562.8	15.9	> 300 per cent. of continuous spectrum.
Fe+	6456.4	1.5	> continuous spectrum.
Si+	6371.4	1.0	> — —
Si+	6347.1	1.0	> — —
Fe+	6247.6	< 1.0	= — —
Fe+	6238.4	< 1.0	= — —
Na	6154.3	< 1.0	= — —
Fe+	6149.3	< 1.0	= — —

There are in addition many lines of neutral iron whose contours are filled in to the extent of about 70 per cent. of the continuous spectrum. An enhancement of the continuous spectrum is clearly visible on the same plate, commencing faintly at about λ 6450 and increasing in brightness with shorter wave-length until the end of the plate is reached at λ 6000. Its point of origin on the solar disk (the flare filament where it passed centrally across the penumbra of the great spot) coincides exactly with that giving rise to the extended wings of the Hα emission, but it is clearly not an extension of these wings. The microphotometer gives an intensity at λ 6202 of the order 10 per cent greater than that of the adjacent continuous spectrum. There can be little doubt, therefore, that this short-lived enhancement of the continuous spectrum, if it extended through the remainder of the visible wave-band, would have rendered the flare visible in intregrated light at the time of maximum intensity.

It will be recalled that Carrington and Hodgson, on 1859 September 1, made just such an observation by ordinary teles-

copic means when they detected a pair of brilliant patches over the centre of the giant sunspot. These appeared *suddenly*, lasted less than 5 minutes and were simultaneous with a « crochet » on the magnetic traces. It is evidently desirable that telescopic observers should maintain a watch for these « white » flares.

On the spectrogram of the D-region taken at 16.35 (slit west of the spot centre) the sodium lines D_1 and D_2 are unaffected. Helium λ 5876 (D_3) shows in emission from the flare filament and in absorption over a great area to the north and south of it. M. d'Azambuja's unique spectroheliogram (*L'Astronomie*, octobre 1946) also records the helium emission, coinciding with the central portions of the two bright filaments, and the helium absorption cloud. The magnesium lines (b group), first photographed at 16.52, were unaffected.

A careful scrutiny of all the spectra has failed to reveal any trace of the coronal lines : in fact, the evidence indicates a purely chromospheric origin for the radiation in visible wave-lengths. There is, likewise, no evidence for the existence of an absorption band on the short-wave side of the Hα line, such as might be ascribed to particle emission during the flare. On the other hand, the spectrum taken at 17.15 shows both helium and hydrogen in absorption displaced to the red, *i. e.* prominence material falling back into the chromosphere with speeds of about 100 km /sec. The spectra have confirmed earlier results obtained here by showing the absence of any large scale turbulence ($>$ 10 km /sec) in the brilliant rope-like filaments of the flare.

Sherborne (Dorset),
England.

1947, March 24.

REFERENCES

1. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **103**, 1943, p. 3.
2. *Nature*, **158**, 1946, p. 81.
3. *Nature*, **158**, 1946, p. 516.
4. *The Observatory*, **66**, 1946, p. 360.
5. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (in press).

THE GENERAL MAGNETIC FIELD OF THE SUN

by

J. EVERSHED

The liquid prism spectrograph at Ewhurst early secured spectra of sunspots in the blue and violet regions, having a dispersion of 1.5 to 2 mm /A with four transmissions through the prism. These at once revealed the magnetic effect in spot spectra in the region between H β and H γ. But the actual splitting of the lines due to the Zeeman effect required similar dispersive power in the less refrangible regions where the dispersion of the liquid decreases markedly, as in glass prisms. It was later found possible, however, to increase the number of transmissions up to ten or twelve times without any loss of definition, the resolving power increasing with the number of transmissions. In this way spectra of large sunspots were obtained with exposure times not exceeding 60 seconds in the green region, and showing in the spectral image umbra and penumbra clearly differentiated. This is important in showing how the magnetic effect varies across the spot.

The discovery followed that the iron line λ 5250.218 of the Revision of Rowland's Table was a wide doublet in the penumbrae of spots, with a greater separation than any other line in the prism spectrum [1]. This line is a normal Zeeman triplet with a theoretical separation three times the normal in frequency units, and would appear to be well suited for estimating the general magnetic field of the Sun, which at present is not easy to determine with any certainty. But the resolving power of the liquid prism spectrograph is probably below the standard required in the longer wave-lengths. If we accept Hale's esti-

mate of 50 gauss, the greatest displacement to be expected for lines showing a large Zeeman separation such as λ 6173 would be about 0.001 A ; but this line of intensity 5 has a width about 90 times the quantity to be measured. The width of the green line 5250.2 is more favourable, but still 60 times the width of the greatest magnetic shift. Owing probably to turbulent motion in the reversing layer, the solar lines under high resolution are wide and not sharply defined at their edges, hence the great difficulty in measuring small displacements of this order of magnitude. The solar lines therefore would seem to be incapable of certainly revealing the solar field if it does not exceed 50 gauss at the poles. Nevertheless, the evidence as given with such infinite care and circumspection by Hale and his collaborators in the year 1913 [2] would appear to be convincing, more especially with regard to the change of sign in going from the northern to the southern hemisphere.

Owing, however, to the failure to confirm these results in later Mt Wilson spectra, in the year 1933 Dr Hale brought me some of the original spectra, which were used in the research, and he asked me to measure them by my method of superposing positive on negative, this being independent of the width of the line and having the advantage of measuring the double displacements and so reducing the probable error. In the result, I was able to detect shifts of the right order of magnitude in the chromium line 5247.6 and the iron line 5250.6, and these shifts appeared favourable to the magnetic effect, althrough the measures were complicated by the fact I had previously found that small Doppler shifts are present even at times of minimum solar activity all over the Sun, but mainly in regions about midway between centre and limb, including the region where the greatest magnetic effect is to be expected, that is on the central meridian at 45° north and south.

In my later measures of the Mt Wilson spectra, I included the very sensitive line 5250.2, since the shifts of this line would give much better evidence than any of the others measured in this region, and it would serve to distinguish between a Zeeman and a Doppler effect, especially by comparing the shifts of the two iron lines 5250.2 and its near neighbour 5250.6, since these lines would have very similar shifts if due to the Doppler effect but very different Zeeman shifts. The more refrangible line in sunspot spectra gives a magnetic separation about three times

greater than its neighbour. The results of measures of nine Mt Wilson spectra showed unmistakeably that the measurable shifts in these plates were similar in the two lines, proving that they were due to motion and not to the effect of a general magnetic field [3]. These results, then, so far as they go, throw doubt on the presence of a general field as great as 50 gauss. All that can be said in mitigation is the fact noted by Hale that some lines, notably that of Ni λ 6012, which shows a wide separation in spot spectra but no appreciable displacement in general field plates and that there is « a lack of parallelism between the results for spot fields and for the Sun's general field » [4]. Yet the sensitive line 5250.2 intensity 2, would appear to be specially favourable for the measurement of the general field, as compared with the much less sensitive line 5250.6, intensity 3, which was one of those selected for measurement by Hale and appeared to give evidence of the general field.

Finally, some recent work in Germany by Thiessen would again appear, as in Hale's research, to be convincing as to the presence of a general field. He uses a very ingenious but complicated set-up. A beam of sunlight from an objective passes a colour and heat filter, a quarter-wave plate and a half-wave plate which is made to rotate, then a polaroid foil, and a second objective which focuses the light on the slit of a spectroscope. The line chosen for observation is then passed through a Fabry-Perot interferometer and another lens and eyepiece. The pattern of rings formed in this way will pulsate synchronously with the rotating half- wave plate if the light from the Sun is affected by the magnetic field, and this of course depends on the circular polarisation in opposite sense of the two Zeeman components. It is surprising indeed that, after so many absorptions and reflections anything is left that can be observed ! Using the line 6173, it is found nevertheless that a marked pulsation occurs which attains a maximum at solar latitude 45° and a minimum at the equator, which it should do if the magnetic pole of the Sun, as in the case of the Earth, is not far from the pole of rotation. The amplitude measured at 45° corresponds with a field of 53 gauss in close agreement with Hale's original result.

It is unfortunate that the effect cannot be photographed, but depends on admittedly difficult visual observations. It would be of interest if instead of confining attention to the line 6173, the two lines I have referred to in the green could be com-

pared, as the marked difference between the two might form additional confirmation of the presence of a general field.

Ewhurst, Surrey. 28 mars 1947.

REFERENCES

1. *The Observatory*, **65**, June 1944, p. 190.
2. *Astrophysical Journal*, **47**, 1918, p. 206-254.
3. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **99**, 1939, p. 439.
4. *Astrophysical Journal*, **47**, 1918, p. 250.

SOLAR RADIO-NOISE DATA FOR CORRELATION WITH TERRESTRIAL PHENOMENA

by

C. W. ALLEN

The recent discovery of variable ultra-short radio waves from the sun opens up a new and promising field in solar-terrestrial relations. The « solar radio-noise » is very closely related to other forms of solar activity and is therefore certain to correlate with those terrestrial phenomena that are related to sunspots. However it is reasonable to hope that some of the solar-terrestrial relations now known will assume a clearer aspect when solar noise data are addep to the solar observations that have been available up to the present.

The status of solar noise investigation has recently been reviewed by G. Reber and J. L. Greenstein [1]. The object of the present note is to suggest an observing programme aimed at supplying systematic continuous information for correlation with both terrestrial data and other solar data. Such a programme is on operation at the Commonwealth Observatory, Mount Stromlo, Australia, and is being amplified to meet the suggestions made here.

The range of information available from solar noise observations is very extensive. The noise at any one frequency has varied characteristics with features ranging from a « noise storm » lasting a few days, down to a noise « burst » lasting a fraction of a second. The noise may be high and steady, just a mass of rapid bursts, or any combination of these. The intensity of both bursts and steady noise can vary a thousand-fold. Even on quiet days the noise appears to be variable and occa-

sional bursts occur. The noise is frequently circularly polarised in either direction and the degree of polarisation is variable. The noise is detectable and active (i. e. not just thermal radiation) over at least the range 30 to 2800 Mc /s, and, although there has not yet been time to study the point, there seems some prospect that each octave of frequency will give its own pattern of bursts, steady and variable noise.

From all the observations that are possible it is desirable to select a limited programme for continuous operation. Some of the more important phenomena are quite short lived and the observations would lose very considerable value if any time should be lost. Such losses have never been eliminated from spectrohelioscope observing in spite of a world-wide campaign, but fortunately the situation is easier for solar noise. Since atmospheric absorption introduces no serious difficulty, and visual observing is not necessary, continuous observation could be achieved by the cooperation of only three observing stations situated possibly in Europe, America, and Australia.

The limited programme that we suggest for continuous operation is simply the registration of noise flux from the sun on two well separated frequencies.

The variation of absorption coefficient with frequency must imply that the different frequencies are able to emerge from different levels in the sun's atmosphere, and the problem of locating the noise in height must depend on inter-comparison of observations at various frequencies. Two frequencies may not be enough even for a continuous programme, but they should serve for the initial stages. We chose frequencies near the high and low end of the easily accessible band, namely 200 and 60 Mc /s.

Since the sun is in most cases smaller than the acceptance cone of aerials in use, the appropriate unit for expressing noise is the flux of radiation per second per unit area per unit frequency range. The calibration could be compared for the three observing stations by using the overlap at the ends of the observing periods, and could be checked by observations on the milky way.

It is desirable to reduce as many characteristics as possible to hourly numerical values and daily means. Two useful and easily made measurements are (*a*) hourly mean flux of the steady component of noise, and (*b*) the number of bursts per hour. For

the sake of uniformity it will be necessary to define the intensity of bursts to be counted ; for 200 Mc/s it is suitable to count all bursts with peak flux above 10^{-15} watts·metre^{-2}. (Mc/s)$^{-1}$. It would not be practicable to measure the time and peak intensity of every burst since they sometimes occur at the rate of several per minute. However individual bursts may be of considerable interest, and it is suggested that the time and peak flux (above the steady noise) of the greatest burst in each hour be measured. For continuous observing, times should be quoted to the nearest minute, thus leaving the question of accurate timing to special researches. There is no doubt that features of special interest will be found on the recordings. These will have to be listed with a time and intensity measurement that is appropriate to the feature. One such feature is an outburst of noise found to be associated with the commencement of a flare. In this case the maximum smoothed flux above the steady flux at the time makes a satisfactory intensity measurement.

The following features are desirable for equipment used in a continuous programme. The aerials require automatic equatorial drive. Provision must be made for regular switching to a matched dummy aerial in order to determine the level of the set noise (often large in comparison with the solar noise). Devices for accurate absolute calibration are necessary. Careful consideration should be given to the response law of the output since the noise variation is very large and both high intensities and low intensities are important.

REFERENCE

1. G Reber and J. L. Greenstein, *The Observatory*, **67**, 1947, p. 15.

SOLAR RADIO NOISE

by

SIR EDWARD APPLETON, F. R. S.,
and J. S. HEY, M. Sc. (*Great Britain*).

The evidence for the emission from the sun of powerful electromagnetic radiations at radio wavelengths associated with sunspot activity was first reported in two brief communications by Appleton [1] and Hey [2]. Subsequent research has led to the further elucidation of the properties of these intense radio noise emissions, and the main results are outlined below.

Observations made during the great sunspot of February 1946, have been described in a further paper by Appleton and Hey [3]. An almost continuous record was obtained of the intensity of solar radiation at a wavelength of 4.7 metres. The power flux at the earth's surface attained a maximum mean level of 10^{-18} watts /sq·metre /c. p. s. bandwidth during central meridian passage, a similar value being attained again three days later. Although there was no precise relationship, the power flux intensity showed a rough correlation with visible sunspot area. It does not appear fundamentally valid to express the radiation intensity in terms of temperature even assuming the area of source to be that of the sunspot, since the radiation cannot, at the present stage, be justifiably regarded as thermal in origin. Nevertheless, to illustrate the magnitude of the radiation, it is sometimes convenient to express it in terms of an equivalent solar temperature. The mean maximum values given above correspond to a black body temperature for the whole sun of about 10^{10} degrees absolute.

In addition to the high mean level of the radio noise emission from the sunspot region, occasional sudden increases of the order of 10 to 100 times in power flux were observed and in certain cases found to be associated with the onset of solar flares and sudden ionospheric disturbances. The simultaneous occurences of solar flares and sudden ionospheric disturbances, most readily evidenced by radio - communication fade-outs on long distance circuits, had been known since the 1936 - 1937 maximum ot the sunspot cycle. It is now revealed that in many cases when solar flares occur, the very short wavelength radiations causing the D-Layer ionisation responsible for the dislocation of radio communications are also accompanied by sudden enhancements in the solar radio wavelength emissions. This is illustrated in figure 1 where the solar noise power flux on 4.7 metres is plotted with time (U. T.) for 11th February, 1946. It will be seen that there was a strong enhancement of solar radio noise at the same time as were reported (*a*) radio fade-outs and (*b*) a solar flare.

FIG. 1. — Solar noise power flux at 4,7 metres. In watts/sq. metre/C.P.S. bandwith (horizontal polarization). Plotted as ordinate with time in hours G. M. T. as abscissa.

▨ Cable and Wireless Ltd fade-out.
▲ Onset of fade-out reported by M. Bureau.
⬚ Solar flare.

There are indications that the spectrum of solar radio noise is to some extent variable, but the measurements during Fe-

bruary 1946, and which appear to be confirmed in general by subsequent observations during times of marked sunspot activity, indicate a peak intensity in the region of 5-metres wavelength with a sharp falling off on the short wavelength side and a less marked decrease at longer wavelengths. Wavelengths around 5 metres have therefore proved suitable for recording

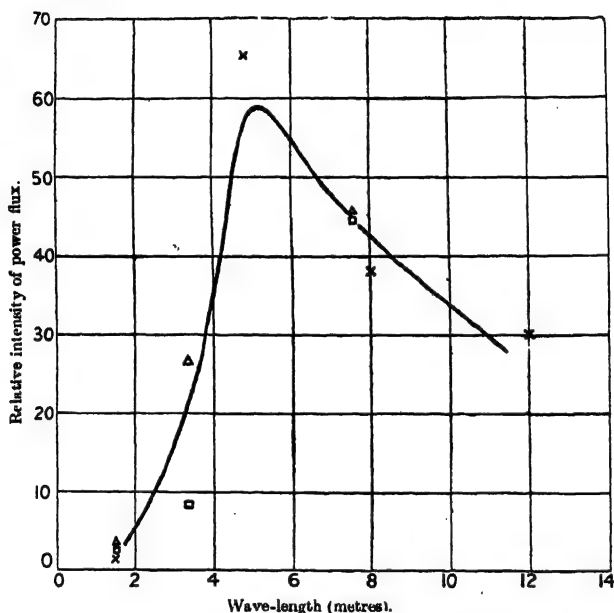



Fig. 2. — Solar noise spectrum observations.

of solar radio noise especially as ionospheric absorption and refraction effects are also generally very small. At longer wavelengths, the ionospheric influences become marked, and above the critical wavelength, dependent on the intensity of ionospheric ionisation and the sun's altitude, the radio emissions cannot penetrate to the earth. On the other hand, at shorter wavelengths of less than 1 metre, the sunspot emissions are of very small intensity.

The spectrum of solar radio noise is illustrated in figure 2 where the results of various groups of British observers, obtained

during February 1946, are collected together on a single diagram.

During the passage of the great sunspot of July 1946, which incidentally was of comparable area although accompanied by a lower intensity of radio noise, a determination was made of the polarisation of the radio waves. The radiation was found to be circularly polarised [3] [4] as might well be expected for radio waves transmitted through the strong magnetic fields which exist in the vicinity of sunspots by analogous application of Appleton's magneto-ionic theory of the ionosphere. There is the further possibility that the radiation itself has a magneto-gyric (electronic) origin. By a detailed study of the correlations between solar data and the characteristics of the radio noise emissions it is hoped that the nature of the origin of this radio phenomenon, at present a matter for speculation, may be clarified.

Department of Scientific
and Industrial Research, London.

8th April 1947.

REFERENCES

1. Appleton, *Nature*, **156**, 1945, p. 534.
2. Hey, *Nature*, **157**, 1946, p. 47.
3. Appleton and Hey, *Phil. Mag.*, **37**, 1946, p. 73.
4. Appleton and Hey, *Nature*, **158**, 1946, p. 339.

ON THE STRUCTURE OF THE SOLAR CORONA AND CHROMOSPHERE

by

F. Hoyle

An attempt has recently been made by H. Bondi, R. A. Lyttleton, and the writer, to explain the origin of the corona and chromosphere by discussing the effect on the atmosphere of the Sun of the capture of interstellar hydrogen. Such material must reach the Sun with an inward velocity close to the velocity of escape from the surface, which is about 630 km. per sec. For the safe of simplicity in the mathematical analysis it was assumed that the captured material enters the sun along radial directions and is distributed isotropically. Under these conditions the investigation becomes a question of dynamical theory of gases and of hydrodynamics, and can be solved without making further important assumptions. There is one free parameter in the theory, namely, the rate at which interstellar material is captured, and this is fixed so as to give the best agreement with observation.

The main results can be described by dividing the solar atmosphere into four regions. Region 1 extends from the reversing layer up to a height of about 10,000 km. Radiation of energy is important in this region. In the main radiating region the temperature is about 20,000 deg. C., the electron density is about 10^{11} per cm^3, and the velocity of convection currents about 20 km. per sec. Near the top of the region the temperature rises to about 10^5 deg. C.

Region 2 extends from the top of region 1 up to a height of about 130,000 km. above the reversing layer. The temperature

rises linearly with height in this region and is about $2 \cdot 10^6$ deg. C. near the top. The electron density is about 10^8 per cm^3 near the top, while the velocity of the convection currents is about 100 km. per sec. Radiation is not important under normal conditions.

Region 3 extends from the top of region 2 up to about 700,000 km. above the phostosphere; where the electron density falls to about $2 \cdot 10^6$ per cm^3; which is comparable with the density of the incoming hydrogen. The temperature and the velocity of the convection currents are comparable with the values occurring at the top of region 2. Radiation is not important under normal conditions.

Region 4 extends outwards from the top of region 3 and consists almost entirely of the incoming captured hydrogen, which may be only partially ionised, in contrast with regions 1, 2, and 3, where the ionisation of hydrogen is effectively complete except near the base of region 1.

It is emphasised that the structure described above is not an assumed model, but is a structure that must exist. The numerical values quoted are to a particular value of the rate of capture of interstellar material, and could be altered somewhat by taking different values of the three parameters.

The region 3 is of the nature of a cushion in which the incoming material is stopped by atomic collisions. The boundary between regions 2 and 3 represents the maximum penetration of the incoming material. The reason why region 3 must be so hot is fairly easy to understand. The amount of material in this region is fixed by the cross-section for the collisions and turns out to be about 10^{-8} atoms per cm^3 of the solar surface. This quantity of material is rather small, while, on the other hand, the amount of energy streaming into this region from outside is very considerable. This energy cannot be removed by radiation under normal conditions, and must be removed by convection occurring in material at high temperature. It is easy to see how these convection currents arise. The incoming hydrogen carries considerable downward momentum into region 3. This results in a downward force on region 3 that is comparable with solar gravity, and it is this force that drives the convection currents, for owing to the nature of the collisions the downward force on upward moving material is less than the force on downward moving material. The currents in region 3, unlike those in region 2, are almost certainly not radial.

Region 2 is a region of fit on to the solar surface. Convection currents at high velocities are projected into this region at the upper boundary and are gradually damped out. Region 1 belongs hydrodynamically to the same region as region 2 ; the distinction is that under normal conditions radiation is important in 1 but not in 2. Hence region 1 is directly visible as the chromosphere.

The above remarks refer to the steady-state problem. Now many solar phenomena (for example, the distribution and frequency of prominences) show a marked correlation between non-steady states of the solar atmosphere and disturbances of the deeper lying photospheric regions. It is probable that there are many ways in which such non-steady states can be produced. The effects of local magnefic fields on the hydrodynamic motions of the corona and chromosphere are of particular interest in this connection.

An important example of a non-steady state arises it there is sufficient local cooling in the corona for the cooled material to be directly visible in the ordinary spectral lines of hydrogen, calcium, etc. The cooled material then appears as a prominence. This remark is not special to the present theory, and would apply to any theory that associates high temperature with the corona.

Finally, it may be noted that the theory of the stady state problem enables the rate of emission of ultraviolet light by the chromosphere and corona to be calculated. In particular, it is found that about $3 \cdot 10^3$ ergs per cm^3 per sec. are emitted by the corona in the form of quanta with energies exceeding 300 electrons volts.

DE L'INFLUENCE EXERCÉE PAR LES TACHES SUR LE RAYONNEMENT SOLAIRE DANS L'EXTRÊME ULTRA-VIOLET ET DANS LE DOMAINE DES ONDES MÉTRIQUES, AINSI QUE SUR LE RAYONNEMENT CORPUSCULAIRE

par

K. O. KIEPENHEUER

1. *Rayonnement dans l'extrême ultra-violet.* — A l'exception de quelques mesures de rayonnement effectuées à très grande altitude [1], s'étendant jusque vers la longueur d'onde 2.000 Å, toutes les données que nous possédons sur l'intensité du rayonnement solaire pour $\lambda < 2.900$ Å reposent sur des conclusions indirectes déduites, soit des densités électroniques des couches ionosphériques, soit des variations du champ magnétique terrestre, soit enfin, de certaines observations spectroscopiques dans les parties extérieures de l'atmosphère solaire.

Si l'on débarrasse les intensités du rayonnement ultra-violet extra-terrestre, déduites de l'ionisation de l'ionosphère, des influences perturbatrices du champ magnétique terrestre, on obtient pour les trois couches ionosphériques E, F_1 et F_2 les relations statistiques suivantes qui représentent la liaison entre l'intensité du rayonnement ionisant et le nombre relatif des taches R [2].

$$\begin{array}{llll} & \text{(I)} & \text{(II)} & \text{(III)} \\ I_E = & 44,4 & + 0,09\,R_{27} & + 0,22\,R_3 \\ I_{F_1} = & 444 & + 1,58\,R_{27} & + 2,09\,R_3 \\ I_{F_2} = & 622 & + 4,10\,R_{27} & + 15,4\,R_3 \end{array}$$

où R_{27} est la moyenne par rotation du nombre relatif des taches de l'ensemble du disque solaire et R_3 la moyenne pour 3 jours.

Le rayonnement ultra-violet extrême du Soleil (il s'agit surtout du domaine spectral 600-900 Å) montre donc, contrairement au rayonnement visible, des variations remarquables et peut être décomposé en trois composantes nettement différentes au point de vue physique :

Composante I. — Ne varie pas au cours d'un cycle solaire et provient de tout le disque du Soleil.

Composante II. — Émise seulement par des régions limitées qui, pratiquement, coïncident avec les groupes de taches. Elle montre, par rapport aux taches du Soleil, un décalage d'environ une rotation.

Composante III. — Décalée de quelques jours par rapport au nombre relatif des taches ; elle provient uniquement de régions limitées de la surface solaire et a une action prépondérante sur la couche F_2.

Les coefficients de corrélation r(I, R) varient, pour les trois couches, dans les moyennes annuelles, entre 0,83 et 0,99, et dans les moyennes par rotation et pour 3 jours entre 0,5 et 0,8. Tous les coefficients ont une tendance à décroître aux approches du minimum. La corrélation entre les trois intensités de rayonnement paraît être indépendante du cycle des taches.

Les intensités absolues du rayonnement ionisant sont notables et dépassent, pour les couches E et F_1, en gros, 10^5 fois l'intensité du rayonnement de la photosphère ($T = 5.740°$) et 10^3 fois pour la couche F_2.

Par suite de sa forte absorption, ce rayonnement de courte longueur d'onde ne peut provenir que des couches les plus extérieures de la chromosphère et de la couronne intérieure. Ainsi qu'il a été démontré [3], les intensités absolues nécessitées peuvent être produites, en partie, par les transitions libres-libres (free-free-transitions) des électrons et des protons de la couronne intérieure ($T \approx 10^6$ degrés) ainsi que par les transitions libres-liées (free-bound transitions) de régions surchauffées de la chromosphère extérieure ($T \gtrsim 7.000°$), c'est-à-dire des facules chromosphériques.

Comme les intensités du rayonnement libre-libre diminuent fortement pour les températures supérieures à 10^5 degrés, lorsque la température croît, les régions de la couronne ayant une excitation de raies plus forte, c'est-à-dire une température plus élevée, doivent émettre plus faiblement dans l'ultra-violet lointain.

C'est ce qui a lieu et ressort nettement [4] de la représentation graphique donnée dans la figure 1, qui contient, sous une forme symbolique de séries de 27 jours, l'éclat de la couronne au méridien central (extrapolée à partir des mesures au bord, effectuées avec la longueur d'onde 5303, au moyen de deux coronographes

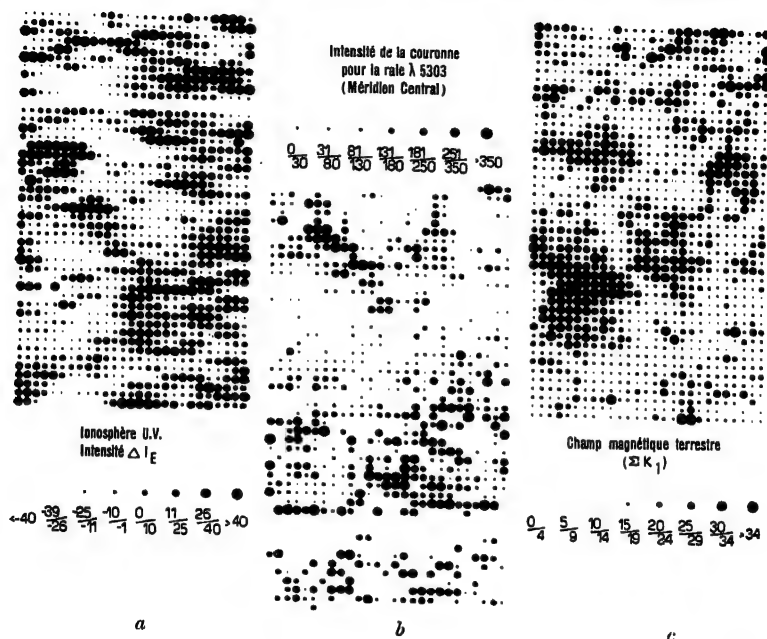



FIG. 1. — Représentation, par lignes de 27 jours :

a) du rayonnement solaire U. V. produisant la couche E (août 29, 1941-décembre 25, 1944) ;

b) de l'intensité de la raie coronale λ 5303 Å. au méridien central (février 16, 1943-septembre 7, 1946) ;

c) des sommes journalières ΣK_1 des nombres caractéristiques géomagnétiques de Potsdam (août 29, 1941-décembre 25, 1944).

de l'Institut Fraunhofer), les écarts quotidiens du rayonnement ultra-violet produisant la couche E, par rapport à la moyenne par rotation (λ ∾ 744-661 Å) et les sommes quotidiennes des nombres caractéristiques magnétiques de Potsdam. On reconnaît qu'à un rayonnement ultra-violet élevé correspond, presque sans exception, un éclat de la couronne faible et réciproquement.

L'interprétation des relations trouvées entre les taches et l'intensité ultra-violette est, dans son essence même, identique à la découverte de sources d'énergie qui provoquent les écarts exceptionnels, par rapport à l'équilibre thermique, observés dans les facules et la couronne. Nous pensons que ces sources résident dans le *champ magnétique variable* des taches du Soleil. Celui-ci provoque, au voisinage de la tache, un système de courants induits qui amène, dans la chromosphère extérieure (facules), une forte élévation de température et dans la couronne intérieure, par un effet analogue à celui du Betatron bien connu, une accélération des électrons libres de quelques centaines d'électrons-volts, le long de leurs grands parcours libres [3]. Cette théorie amène donc les intensités ultra-violettes mesurées à être liées directement au champ magnétique des taches et permet, ainsi qu'il a été prouvé ailleurs d'une manière circonstanciée [4], de très bien retrouver les propriétés différentes des trois composantes ultra-violettes.

2. *Rayonnement solaire dans le domaine des ondes métriques.* — Au cours des dernières années, il a été montré, de différents côtés [5], que le Soleil émet, dans le domaine des ondes métriques et centimétriques, un rayonnement fortement variable, dont l'intensité est en corrélation étroite avec le nombre relatif des taches, ainsi qu'avec la répartition des taches sur le disque, et qui surpasse l'intensité du rayonnement de la photosphère ($T = 5.740^{o}$) souvent de plus de 10^8 fois sa valeur normale. Pour comprendre le processus d'émission, ainsi que la localisation de ces sources de rayonnement, il est essentiel de connaître l'absorption de ce rayonnement dans l'atmosphère solaire. Le tableau I donne l'épaisseur optique τ de la couronne (1) pour quelques longueurs d'onde [6].

TABLEAU I

λ	3.000	300	30	3,0	cm
τ	4.500	45	0,45	0,005	

(1) Une couche d'épaisseur optique τ affaiblit l'intensité du rayonnement qui la traverse dans le rapport $e^{-\tau}$.

La couronne est donc presque transparente pour $\lambda < 50$ cm. alors que son épaisseur optique augmente d'une manière extraordinaire pour les longueurs d'onde croissantes. Pour les grandes longueurs d'onde, la couronne doit donc rayonner, suivant la loi de Kirchhoff, comme un corps noir à une température $T > 5 \cdot 10^5$ degrés. En fait, on observe, dans le domaine des ondes métriques, d'une manière permanente, un rayonnement de ce genre [7], alors que l'intensité des ondes centimétriques se rapproche davantage du rayonnement noir de la photosphère ($T \approx 6.000^o$). A ce rayonnement se superposent, cependant, des pointes temporaires, relativement intenses, de rayonnement, dont la durée peut atteindre des heures, souvent même, des jours et qui ne peuvent être interprétées que comme un rayonnement thermique. Sa relation avec les taches solaires, ainsi que sa forte intensité peuvent être expliquées par l'action du champ magnétique des taches [8]. Les électrons libres de la couronne décrivant des orbites circulaires dans le champ magnétique H d'une tache rayonnent comme un dipol de Hertz, avec la longueur d'onde $\lambda = 1{,}07 \cdot 10^4 / H$ cm. La considération exacte de la répartition de la densité électronique et du champ, au voisinage d'une tache, amène à un rayonnement si extraordinairement intense, que son intensité et sa polarisation semblent être en accord avec les observations. Ainsi, ici aussi, le champ magnétique des taches joue un rôle primordial, ce qui, en considérant l'action biologique sur la Terre, de ce rayonnement qui traverse l'atmosphère terrestre presque sans affaiblissement, a une importance particulière.

3. *Rayonnement corpusculaire.* — Comme le rayonnement solaire dans l'ultra-violet lointain et dans le domaine des ondes métriques, les actions sur la Terre du rayonnement corpusculaire solaire sont sous la dépendance du champ magnétique variable des taches. La recherche des relations est rendue particulièrement difficile par l'invisibilité du rayonnement corpusculaire et par la limitation aux cas où celui-ci « atteint » réellement la Terre. D'après les travaux les plus récents [9], ce rayonnement possède les propriétés suivantes :

a) Le rayonnement corpusculaire issu du Soleil est toujours émis sous forme de *jets* distincts ;

b) Une espèce de jets, dont les particules ont une vitesse moyenne de l'ordre de 1.600 km /sec., est émise par les éruptions intenses ; elle est de courte durée et a, au voisinage de la Terre, une section sensiblement circulaire de $\sim 5 \cdot 10^{10}$ cm. de diamètre. Il

est probable que ces jets qui produisent, généralement, sur la Terre, les orages magnétiques, ne la rencontrent qu'une fois.

c) Une seconde espèce de jets, sensiblement plus fréquente, dont les particules ont une vitesse qui ne dépasse guère 300 à 600 km /sec., est émise par les filaments ; elle a une section ayant la forme d'une bande (par exemple, $10^{10} \times 10^{11}$ cm.) ; elle est identique aux rayons coronaux observables en lumière blanche. La densité de ces jets, au voisinage de la Terre, est inférieure à 10^{-20} gr /cm. Leur durée de vie surpasse souvent 6 rotations. En l'absence de taches, dans un rayon de 40° héliographiques autour du filament émetteur, ces jets de particules tournent pratiquement comme un bloc avec le Soleil si bien qu'ils rencontrent la Terre tous les 27 jours. Par suite de leur structure en « ailes de papillons », la probabilité qu'ils rencontrent la Terre est sensiblement plus grande que pour les jets émis par les éruptions.

Ces jets, électriquement conducteurs mais macrocospiquement neutres, sont déviés dans le champ magnétique des taches. Le domaine d'action magnétique des taches se superpose ainsi avec les régions de la couronne présentant un renforcement d'éclat, observable avec la raie λ 5303. Le passage de ces régions, au méridien central du Soleil, a pour conséquence, quelques jours plus tard, une diminution de l'agitation géomagnétique. Cette relation est bien visible dans la figure 1, où les périodes de plus grand éclat de la couronne correspondent à des nombres caractéristiques magnétiques faibles. La liaison rigide de ces rayons au Soleil, c'est-à-dire la tendance des perturbations géomagnétiques qu'ils provoquent, à se reproduire tous les 27 jours, est la plus marquée au moment du minimum des taches, ce qui est en bon accord avec l'observation.

Les taches solaires exercent ainsi sur l'émission du rayonnement corpusculaire *rapide*, issu des éruptions, une action favorable, car les éruptions ayant l'intensité nécessaire pour l'émettre n'ont lieu qu'au voisinage des grandes taches. L'émission du rayonnement de particules lent est empêché par l'apparition de taches, ce qui revient à dire que la correspondance entre l'action sur la Terre de ces rayons et certains phénomènes solaires déterminés est rendue impossible par leur déviation dans le champ magnétique des taches.

Institut Fraunhofer,
Freiburg i. Breisgau.

BIBLIOGRAPHIE

1. K. O. KIEPENHEUER, *Fiat-Review*, 1947 (Solar Physics).
BAUM, JOHNSON, OBERLY, ROCKWOOD, STRAIN, TONSEY, *Phys. Rev.*, **70**, 1946, p. 781.
2. K. O. KIEPENHEUER, *Annales d'Astrophysique*, Paris, **8**, 1945, p. 210.
3. K. O. KIEPENHEUER, *Annales d'Astrophysique*, Paris, **9**, 1946, p. 42.
4. K. O. KIEPENHEUER, *Monthly Notices R. A. S.*, London, 1947, sous presse.
5. J. L. PAWSEY, R. PAYNE SCOTT, L. L. MC CREADY, *Nature*, **157**, 1946, p. 158.
6. K. O. KIEPENHEUER, *Neue Physikalische Blätter*, fasc. 9, 1946, p. 255.
7. J. L. PAWSEY, *Nature*, **158**, 1946, p. 633.
8. K. O. KIEPENHEUER, *Nature*, **158**, 1946, p. 340.
J. DENISSE, *Les extraits de la revue scientifique*, 1946.
9. K. O. KIEPENHEUER, *Naturwissenschaften*, **33**, 1946, p. 118 ; *Astrophys. Journal*, **105**, 1947, p. 408.

RADIO FREQUENCY RADIATIONS FROM THE SUN

by

M. RYLE and D. D. VONBERG

1. *Introduction.* — We have developed a technique which enables the radiation from the sun on radio wavelengths to be automatically recorded separately from the radiation on the same wavelengths which originates in the galaxy.

This note gives an account of results which have been obtained by this method on two different frequencies of 175 Mc/s. and 80 Mc/s. The records for 175 Mc/s. cover the period from July 1946 to March 1947, and those for 80 Mc/s. from December 1946 to March 1947.

The results obtained lead us to distinguish between :

a) Low intensity radiation from the « undisturbed » sun ;

b) Steady increased intensity during the appearance of the larger sunspots ;

c) Short-lived « bursts » of high intensity radiation.

During periods of increased activity we have also investigated the angular diameter of the source of the radiation, and have made frequent observations on the polarization of the radiation.

We describe the results of these experiments in the following sections and discuss some theoretical points in the final paragraph.

2. *Daily mean intensity.* — The mean intensity recorded over the four mid-day hours is used as a daily figure to show the long-term variation of intensity. The values for the two frequencies for the period 14th December 1946 to 26th March 1947 are represented in figure 1. The intensities are expressed in

terms of an equivalent temperature of a black-body source subtending an angle of 1/2 degree.

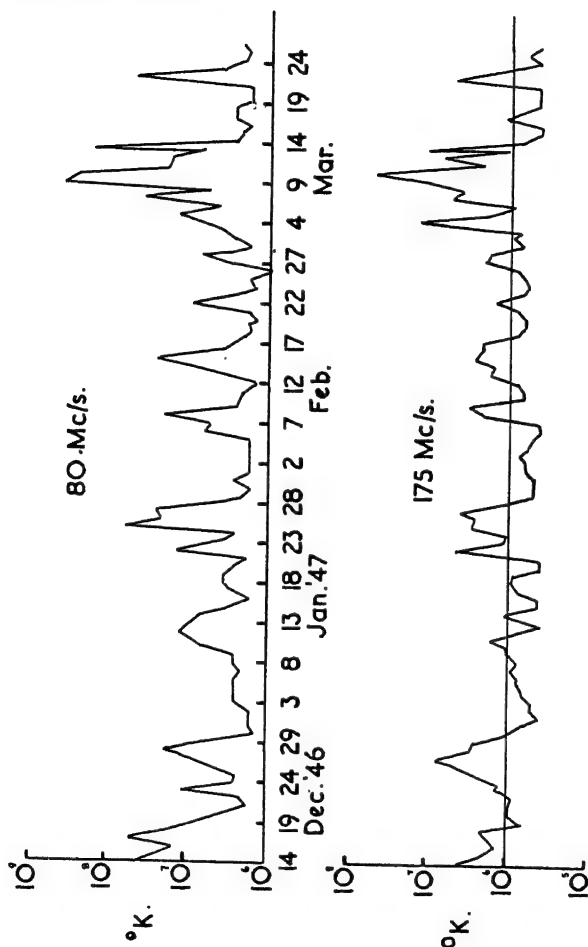



Fig. 1. — Variation in the Daily Mean Intensity.

Although the two curves are of the same general shape, the medium period (2-3 day) variations shew marked differences.

In figure 2 the ratio of the intensities on the two frequencies has been plotted so as to shew any possible variations with a period of 27 days. This curve shews that whilst the general

level of radiation on these two frequencies is consistent with a λ^2 law, there are marked departures on many days.

3. *Short-lived « Bursts » of radiation.* — Under disturbed conditions, the radiation is characterised by the presence of sudden and short-lived bursts of increased intensity; an increase of 10 : 1 in power frequently occurs for a few seconds only. There appears to be no correlation (for bursts of this type) as observed on the two frequencies.

At times, however, very much larger increases occur, giving an increase of power of 100 : 1 or more, and these may persist for ten minutes to several hours. These larger bursts are usually observed on both frequencies, and are often accompanied by other evidence of solar activity, such as visual observation of flares, or radio fade-out effects.

4. *Size of active source.* — During the appearance of the large sunspot of July 1946, the angular diameter of the active source was measured. The method adopted is analogous to Michelson's method for determining stellar diameters; two aerial systems, separated by many wavelengths, being used to produce an interference pattern which is swept past the sun by the earth's rotation.

Using a frequency of 175 Mc/s. we found that the source diameter was less than 10 minutes of arc.

5. *Polarization.* — Observations on 175 Mc/s. have shewn that during periods of high intensity the radiation is circularly polarized. The sign of the polarization varies from one sunspot to another, and at times the polarization is incomplete, the radiation sometimes appearing non-polarized. This is presumed to be due to the emission of radiations of comparable intensity and different polarity from more than one sunspot.

6. *Theoretical discussion.* — *a*) The intensities recorded on 175 Mc/s. from the sunspot of July 1946, together with the measured angle of 10 minutes of arc subtended by the source, are equivalent to a source temperature of 10^9-10^{10} °K. This is considerably greater than any probable gas temperature in the solar atmosphere, and it seems necessary to regard the source of such radiation as :

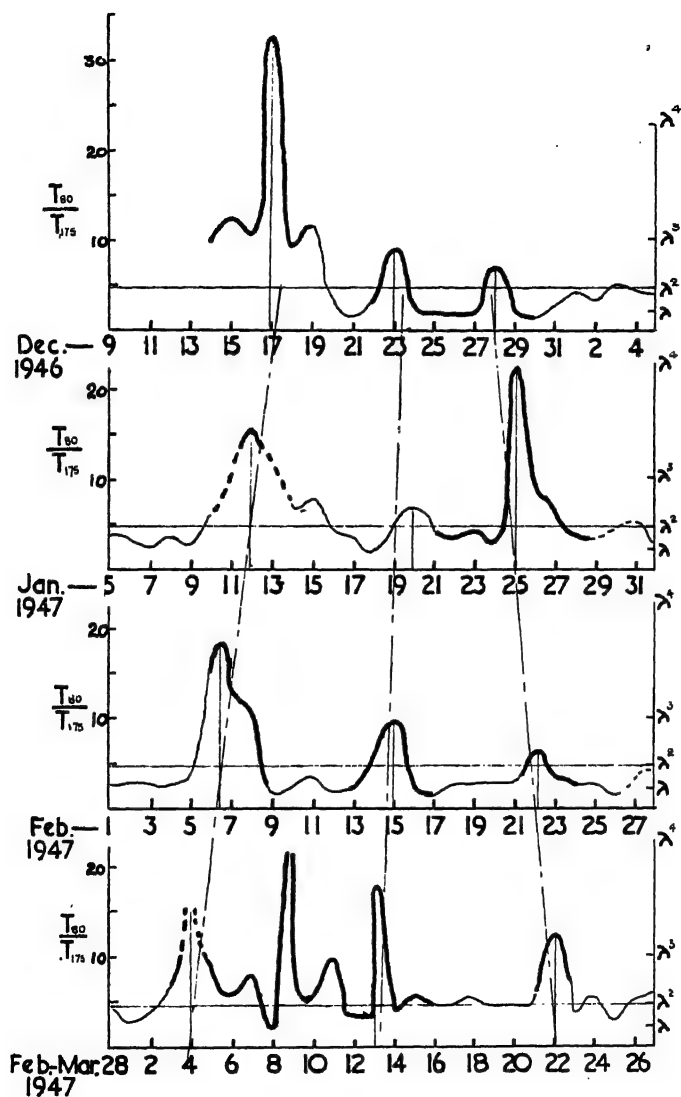



FIG. 2. — Ratio of equivalent 1/2 degree source temperatures (T_{80}/T_{175}).

either (i) below the photosphere, the presence of the sunspot permitting escape of the radiation through a region of high density;

or (ii) in the solar atmosphere, where the lower density makes it possible to obtain radiation from electrons having a very much higher energy than corresponds to the gas temperature. Such a state of non-equilibrium could be maintained by the presence of an electric field.

b) The emission of circularly polarized radiation might be due to the existence of conditions suitable for :

either (i) the production of such radiation;

or (ii) the escape of only one magneto-ionic component from an underlying region.

Application of the magneto-ionic theory of wave propagation (1) suggests that the powerful magnetic fields associated with sunspots might be capable of achieving either the generation of circularly polarized radiation from an electron gas in the solar atmosphere, or of permitting the escape of a circularly polarized wave from regions of higher density. The sign of the resulting polarization, for a fixed sense of the sunspot magnetic field, would, however, be opposite for the two processes, and by measurement of the polarization and the direction of the sunspot magnetic field, it should be possible to distinguish between the two processes.

Owing to the difficulty of estimating the direction of the magnetic field in the source region, no conclusive evidence has yet been obtained, but the results obtained so far agree best with the hypothesis that the radiation is generated in the solar atmosphere.

c) Observation of non-coincident short-lived bursts on the two frequencies suggests that radiation on different frequencies is generated in different regions, and that only during periods of great activity are both regions affected by the same disturbance.

d) There is some evidence, in figure 2, that the fluctuations of medium duration (2-3 days) recur after roughly 27 days. This would suggest that these fluctuations are not due to variations of excitation, but to directed emission, whose angular distribution is different for the two frequencies.

---

(1) As developed for the terrestrial ionosphere, by APPLETON, *J. I. E. E.*, 71, 1932, p. 642.

The curve suggests that there are periodicities of 28, 27, and 26.3 days. These may be due to radiation from sunspot regions at different latitudes.

Cavendish Laboratory,
Cambridge.

29th March 1947.

NEW ASPECTS ON SOLAR AND TERRESTRIAL RELATIONSHIPS

by

M. WALDMEIER

The following report is a recapitulation of the progress made in the study of solar and terrestrial relationships since the year 1938, specially considering the research work made by the Swiss Federal Observatory Zürich.

By solar and terrestrial relationships we include all the phenomena caused by the variable solar activity. They can be based on the six following sorts of radiations, to which the author gave the names [1] :

W_K — a continuous ionising wave radiation starting from the sun ;

W_E — an ionising wave radiation emitted from chromospheric eruptions, temporarily limited ;

P_K — a slow corpuscular radiation emitted from the sun for some time ;

P_E — a fast corpuscular radiation pushed out by chromospheric eruptions, temporarily limited ;

R_K — a continuous solar radiation in the radio wave-length band ;

R_E — a solar radiation in the radio wave-length band emitted by solar eruptions, temporarily limited.

The definition of the W_E -, P_E - and R_E - radiations already show their origins. The W_K - radiation lies between $\lambda = 600$ and $\lambda = 900$ Å and its intensity is 10^5 times greater than that of the thermic radiation of the photosphere. As source of this radiation the author postulated the corona of

is not in contradiction with its coronal origin, as the 5303-emission is closely connected with the faculae [6].

The origin of the P_K - radiation, which for a long time was no less an enigma then that of the W_K - radiation, could be cleared up to a certain extent. It was found, that, as a consequence of extremely bright 5303-regions, the so-called C-regions, magnetic disturbances appear [7]. As the C-regions are limited to times of great solar activity, we have to look for another explanation for the P_K-radiation at times of small activity, in so-called M-regions. As the correlation of magnetic disturbances with prominences is greater than the correlation with any other solar phenomena, it was obvious to examine this relation closer, all the more as the stationary filaments and the M-regions show the same statistical properties and furthermore the eclipse photographs demonstrate, that the coronal streamers, which may be considered as streams of particles leaving the sun, frequently originate in stationary prominences. Based on prominence diagrams corresponding to Bartels' magnetic diagrams the assumed relationship could be confirmed [8]. The magnetic diagrams compared with the corresponding prominence diagrams indicated a retardation which seems to demonstrate, that the travelling of the corpuscular radiation emanating from the prominences lasts from 3 — 6 days. The trajectories of these slow particles seem to be rather complicated, deriving from the fact, that filaments even in high heliographic latitudes are acting magnetically.

The origin of the R_K-radiation seem to be in the corona too, as the latter is not transparent for radiations of $\lambda \sim 5$ m (free-free-transitions in the ionised hydrogen gas). In this region the corona therefore generates thermic radiation corresponding to its temperature of 10^6 degrees. As the intensity on this wavelength is proportional to the temperature, the radiation on radio frequencies should be app. thousandfold more intense than the thermic radiation of the phostophere, which in fact has been ascertained. One part of the R_K-radiation seems to originate from sunspots, so that the R_K-radiation consists of different components, which by the way also seems to be the case with W_K and P_K.

The terrestrial effects of the W-and P-radiations are widly known, but not for the R-radiation. It has to be considered, that the R-radiation is the only component of solar radiation,

the sun, which, on account of its extremely high temperature, radiates very intensively in the shortwave region of the spectrum [2]. It is not excluded, that the regions of faculae also add their contribution to the W_K-radiation, but the researches of the author show, that the W_K-radiation, responsible for the ionosphere, originates practically wholly in the corona, at least as far as the E-layer is concerned. A first study shows [3], that the intensity of this radiation at the maximum of solar activity is about twice that at the minimum. This seems to conform closely to the amplitude of the coronal radiation, whilst the faculae, as for the surface, have an amplitude of 15 : 1, whereby it has to be taken into consideration, that the faculae at the maximum of activity are not only more extended but brighter than at the minimum. Another hint, that the W_K-radiation producing the E-layer originates in the corona, has been brought forth by the ionospheric observations during the solar eclipse of July 9th, 1945, together with the corona-observations at the astrophysical observatory in Arosa [4]. As derived from the ionisation of the E-layer the course of the W_K-radiation showed characteristic differences to the course of the intensity of the visible radiation. This tends to prove, that the ionising radiation does not originate uniformly from every point of the surface of the sun. The variation of the visual coronal radiation (line 5303 Å) showed the same anomalies. The direct observation of this variation was impossible, as the corona in front of the solar disk is invisible ; but the distribution of intensity in the line 5303 Å has been observed alongside the limb 7 days before till 7 days after the eclipse and thus — under the assumption, that the distribution remains unchanged for several days — the distribution of intensity on the line 5303 on the solar disk has been built up for the day of the eclipse, thus enabling to deduce the variation of the total intensity in the line 5303 during the eclipse. It is of particular interest, that the ionising radiation and the coronal 5303-radiation during the totality declined only to 10 % of the value outside the eclipse and not to zero, as it should have been the case, if the ionising radiation had originated in the regions of the faculae. This does not mean, that the line 5303 produces the ionisation, but that the intensity of this line is a quality mesure for the ionising radiation. The very good correlation between the character-figures of the Ca-Flocculi and the W_K-radiation [5]

subject to the variations of the sun's activity, which reaches both the troposphere and the earth's surface. Such a component has been assumed long ago [9], as an explanation for climatic and biological influences of solar activity. The biological effects of ultra-short waves are widly known and it seems to be merely a question of observational technics to prove the terrestrial effects of solar ultra-short wave radiation.

Swiss Federal Observatory, Zürich. November 3, 1947.

REFERENCES

1. M. WALDMEIER, Sonne und Ionosphäre, *Fortschritte der Hochfrequenztechnik*, Bd. III, Leipzig, 1944.
2. M. WALDMEIER, Probleme der Sonnenkorona (Vortrag vom 9. Juni 1943). *Naturwiss.*, **32,** 1944, p. 51.
3. M. WALDMEIER, Ionosphärische Bestimmung der UV-Intensität der Sonnenstrahlung im Bereich 700-900 Å, *Helv. Phys. Acta*, **17**, 1944, p. 168 and : Die Abhängigkeit der F_2-Grenzfrequenz von der Sonnenaktivität. *Vierteljahrschrift d. Natf. Gesellschaft*, Zürich, **90**, 1945, p. 40.
4. M. WALDMEIER, Coronal radiation and the Ionosphere during the solar eclipse of July 9th 1945, *Terr. Magn. and Atmospheric Electricity*, **52**, 1947.
5. O. BURKARD, Ionosphärische Bestimmung der UV-Intensitäten der Sonnenstrahlung, *Vierteljahrschrift d. Natf. Ges. Zürich*, will be published soon.
6. M. WALDMEIER, Heliographische Karten der Sonnenkorona, *Zeitschrift f. Astrophysik*, **21**, 1941, p. 109.
7. M. WALDMEIER, Untersuchungen an der grünen Koronalinie 5303 Å, *Zeitschrift f. Astrophysik*, **19**, 1939, p. 21, and : Koronaintensität und Erdmagnetismus, *Zeitschrift f. Astrophysik*, **21**, 1942, p. 275.
8. M. WALDMEIER, An attempt at an identification of the M-regions, *Terr. Magn. and Atmospheric Electricity*, **51**, 1946, p. 537.
9. M. WALDMEIER, *Sonne und Erde*, 2. Aufl. S. 232, Zürich, 1946.

PROBLÈMES VARIÉS CONCERNANT LES RELATIONS ENTRE LE SOLEIL ET LA TERRE

PROGRESS OF RESEARCH ON SOLAR AND TERRESTRIAL RELATIONS

by

C. G. ABBOT

The Smithsonian Institution still maintains several stations for observing the solar constant of radiation, daily if possible. The station at Montezuma, Chile, is by far the most valuable, because of the excellent atmospheric conditions there for this exacting research. The station on Mount St. Katherine, Sinai, Egypt, was a close second, but had to be abandoned because of the Ethiopian war, and afterwards World War II. A station on Burro Mountain, near Tyrone, New Mexico, U. S. A., was substituted, but has proved unsuitable, principally because of metallurgical operations on either side, very actively pursued during World War II. The spectrobolometric apparatus from this station has now been removed to Miami, Florida, U. S. A., in order to obtain atmospheric transmission coefficients from a sea-level station for a period of a year. After that it is proposed to search for a location equal to Montezuma. Table Mountain, California, U. S. A., has been occupied continuously since 1925, but is far less satisfactory than Montezuma for solar constant determinations.

The daily, ten-day, and monthly definitive values of the solar constant from Smithsonian stations were published in Volume 6, Annals of the Smithsonian Astrophysical Observation (1942) as far as the end of September, 1939. They are now definitively reduced to the end of December 1945 and recently published by C. G. Abbot [1]. The discussion in Chapter 6 of Annals, Volume 6, revealed 14 regular periodicities in solar variation, all approximately integral submultiples of 273 months,

or two sunspot cycles of eleven years, or one Hale cycle of solar magnetism.

C. G. Abbot has published a paper [2] showing that these solar periodicities are reflected in terrestrial precipitation and temperatures in a very substantial degree. At certain stations he had good success in using them to make forecasts of terrestrial weather over many years. He has also showed that observations of calcium flocculi and of critical ionization numbers for the F_2 layer confirm his earlier papers [3] which demonstrated that short-interval ups and downs of the intensity of solar radiation produce considerable changes of terrestrial temperatures over many days. Researches, as yet unpublished, of Dr. Barnhard Duell of Frankfort, Germany, support these results.

C. G. Abbot is now revising the solar radiation periodicities by including the solar-constant observations of 1939-1945 with those published in Annals, Volume 6. It is hoped to publish soon these revised periods together with the definitive solar-constant values to the end of 1945.

C. G. Abbot has discovered a regular period of 6.6456 days in solar variation. This makes the sun the type specimen of a new class of regular variable stars. The recurrences of this periodic solar variation since the year 1910 have produced, on the average, 5° F. in variations of terrestrial temperatures at Washington, Saint-Louis, and Helena, U. S. A. These temperature changes range in amplitude from 2° to 20° F. That the period has not hitherto been recognized by meteorologists is because, although the solar period is invariable in phase, the terrestrial responses are subject to occasional displacements of ± 1,2, and (rarely) 3 days in phase. It is thought that this displacement indicates an indirectly operative mechanism, rather than a direct heat effect of solar changes. It may be that atmospheric ozone is the intermediate agency. A paper on this periodicity is about to issue [4].

L. B. Aldrich succeeded C. G. Abbot as Director of the Smithsonian Astrophysical Observatory, July 1944. Besides maintaining the solar constant program, the Observatory in cooperation with the U. S. Army, Quartermaster Corps, is engaged in extensive and long-continued automatic measurements of the daily intensity of solar radiation at ground level in several regions of spectrum from ultraviolet to infrared. The spectro-

bolometric measures of atmospheric transmission coefficients at Miami are a part of this program.

It is intended to make a new determination of the Smithsonian Scale of Pyrheliometry at Mount Wilson in 1947, using the compensating water-flow pyrheliometer as a standard for checking the constants of several silver-disk pyrheliometers, which have been compared with others in various parts of the world many times since the year 1912.

L. B. Aldrich has published an important discussion of the relation of sunspot activity to the solar constant of radiation [5]. It appears that the relationship reverses in successive sunspot cycles of eleven years.

Washington, D. C., U. S. A. November 12, 1947.

REFERENCES

1. C. G. Abbot, *Smithsonian Misc. Coll.*, **107**, nº 10, Publ. nº 3902, 1947.
2. C. G. Abbot, *Smithsonian Misc. Coll.*, **101**, nº 1, 1941.
3. C. G. Abott, *Smithsonian Misc. Coll.*, **95**, nº 12 and nº 15, 1936 ; **104**, nº 5, 1944, and nº 13, 1945.
4. C. G. Abbot, *Smithsonian Misc. Coll.*, **107**, nºs 4 and 9, Publ. 3893 and 3901, 1947.
5. L. B. Aldrich, *Smithsonian Misc. Coll.*, **104**, nº 12, 1945.

SOLAR INFLUENCES ON GEOMAGNETISM

by

JULIUS BARTELS

A survey of geomagnetic studies, 1939 to 1945, on variations of solar radiation has been written, in German, for the *Fiat Review of Geophysics*, to appear in 1947 [6], supplementing the 2 volumes « Geomagnetism » by Chapman and Bartels [1].

The main result of extended studies on wave-radiation W was a very close correlation between monthly means, 1922-1939, of Zürich relative sunspot numbers R and those of a measure for W derived from the diurnal variation of horizontal intensity at Huancayo [7] [8]: finally, the parallelism of R and W was traced in daily values [9], by means of the superposed-epoch method. The statistical aspects of these and similar studies [12] [13], and the historical background since Gauss [14] were discussed. The influence of W on lunar-diurnal variations was studied jointly with H. F. Johnston [3] [4].

With respect to particle-radiation P, the three-hour-range index K, a generalized Kennziffer [5], was introduced for an international trial scheme, and discussed in joint papers with N. H. Heck and H. F. Johnston [2]. Daily international magnetic character-figures were proposed for 1884 to 1889 [10], and 1941 to 1943 [11]. A first account of extensive studies on relations between R and P, based mainly on daily character-figures, 1884 to 1943, and three-hourly Potsdam Kennziffern, 1900 to 1947, is given in [6].

Geophysikalisches Institut,
Universität, Göttingen.

PAPERS BY J. BARTELS SINCE 1939, BEARING ON SOLAR AND TERRESTRIAL RELATIONSHIPS

A) *Joint publications.*

1. S. Chapman, and J. B., *Geomagnetism.* Oxford, Clarendon Press, 1940. Vol. I, Geomagnetic and related phenomena, xxviii + 542 pages ; Vol. II, Analysis and physical interpretation of the phenomena, x + 507 pages + 77 tabular pages.
2. J. B., N. H. Heck and H. F. Johnston, *a)* The three-hour-range index measuring geomagnetic activity, *Terr. Magn.*, **44**, 1939, p. 411 ; *b)* Geomagnetic three-hour-range indices for the years 1938 and 1939, *Terr. Magn.*, **45**, 1940, p. 309.
3. J. B., and H. F. Johnston, Geomagnetic tides in horizontal intensity at Huancayo. *a) Trans. Amer. Geophys. Union*, 1940, p. 273 ; *b) Terr. Magn.*, **45**, 1940, p. 269 and 485.
4. J. B., and H. F. Johnston, Main features of daily magnetic variations at Sitka, Cheltenham, Tucson, San-Juan, Honolulu, Huancayo and Watheroo, *Terr. Magn.*, **44**, 1939, p. 455.
5. J. B., and A. Burger, Potsdamer erdmagnetische Kennziffern 12. bis 14. Mitteilung. *Zeits. f. Geophysik*, **17**, 1941-1942 and **18**, 1943.

B) *Individual publications.*

6. Erdmagnetismus II : Zeitliche Variationen, Beziehungen zur Sonnenphysik, zum Polarlicht, zur Ionosphäre. In *Fiat Review of Geophysics*, **1**. To be published for Mil. Govt. for Germany, Field Information Agency, Technical (British, French, US Fiats), by Dieterich'sche Verlagsbuchhandlung, Wiesbaden, 1947.
7. Solar radiation and Geomagnetism, *Terr. Magn.*, **45**, 1940, p. 339.
8. Schwankungen der Sonnenstrahlung, erdmagnetisch erschlossen, *Abhandl. Preuss. Akad. Wiss. Berlin, Math.-naturwiss. Kl.*, 1941, nº 12.
9. Geomagnetic data on variations of solar radiation : Part I. Wave-radiation, *Terr. Magn.*, **51**, 1946, p. 181.
10. Bestimmung täglicher internationaler erdmagnetischer Charakterzahlen für Jahre vor 1890, *Trans. Washington Meeting 1939, Internat. Union Geodesy and Geophysics, Assoc. Terr. Magn. Electr.*, Bull. nº 11, Edinburgh 1940, p. 183.
11. Internationale erdmagnetische Charakterzahlen für 1941 bis 1943, *Meteorol. Zeitschr.*, **60**, 1943, **61**, 1944.
12. Statistik in der Geophysik, *Ann. d. Hydrogr.*, Hamburg, **71**, 1943, p. 107.
13. Gesetz und Zufall in der Geophysik. *Naturwiss.*, **31**, 1943, p. 421.
14. Erdmagnetismus zu Gauss «Zeiten und heute». *Naturwiss.*, **33**, 1946, p. 140.

ÉRUPTIONS CHROMOSPHÉRIQUES SOLAIRES RAYONNEMENT COSMIQUE ET PHÉNOMÈNES IONOSPHÉRIQUES TERRESTRES

par

R. Bureau

Il est assez rare de rencontrer dans les recherches scientifiques des exemples où le progrès vient simplifier les recherches et grouper en un faisceau unique les phénomènes les plus divers. En général une branche de recherches prospère entraîne un véritable foisonnement dans des directions différentes et favorise peu à peu les excès de la spécialisation. Il n'en est donc que plus indiqué d'attirer l'attention sur l'exception favorable qui se manifeste, si l'on me permet cette image, par une action centripète des recherches et non par une action centrifuge. C'est le cas pour les perturbations ionosphériques à début brusque (P. I. D. B.)

Nous savons aujourd'hui que les évanouissements brusques sont l'une des manifestations radioélectriques du phénomène solaire connu sous le nom d'éruptions chromosphériques brillantes. Nous savons que ces éruptions sont l'origine d'un rayonnement ultra-violet qui traverse sans effet marqué les régions E et F de l'ionosphère et qui provoque dans la région D (région D anormale) une ionisation provisoire. Nous savons que la région D anormale absorbe les ondes décamétriques, d'où le phénomène d'évanouissement brusque, qu'elle renforce par contre les ondes kilométriques supérieures, que ce renforcement a des effets spectaculaires sur les enregistrements du niveau moyen des atmosphériques.

Nous savons aussi que certaines éruptions provoquent des crochets caractérisés sur les enregistrements du magnétisme terrestre. Rien que tout cela serait suffisant pour justifier le nom

de « carrefour de recherches » que j'ai donné autrefois à l'ionosphère. Mais le chapitre est loin d'être achevé ; la fécondité du sujet n'est pas épuisée ; elle n'en est peut-être qu'à ses débuts. Toutes ces questions intéressent directement les travaux relatifs aux liaisons entre les phénomènes solaires et les phénomènes terrestres et apportent une aide à la difficile étude des rayonnements solaires qui atteignent la terre.

Les rayonnements lumineux qui interviennent dans les perturbations de l'ionosphère se partagent en rayonnement ondulatoire, et en rayonnement corpusculaire. Les P. I. D. B. sont la conséquence d'un rayonnement ondulatoire ultra-violet. L'éruption chromosphérique émet aussi un rayonnement dans la lumière visible perceptible par l'examen monochromatique de la chromosphère au spectrohélioscope ou au spectrohéliographe. Depuis ces dernières années nous connaissons l'existence d'un troisième groupe de rayonnements ondulatoires sur les fréquences radioélectriques ; il a été mis en évidence grâce à l'utilisation d'appareils-radar travaillant sur ondes métriques et sur ondes décimétriques [1]. Parmi les rayonnements radioélectriques du Soleil, les uns existent en permanence, sont caractéristiques des jours calmes et sont peu intenses. Les autres, plus intenses, sont associés aux taches solaires. Enfin, un rayonnement électromagnétique beaucoup plus intense encore semble accompagner des éruptions chromosphériques. On peut ainsi sans crainte d'erreur affirmer dès aujourd'hui que les éruptions chromosphériques provoquent trois catégories de rayonnements ondulatoires distinctes : rayonnement ultra-violet, rayonnement visible et rayonnement radioélectrique. Pour ces trois catégories la propagation est rectiligne, la vitesse est celle de la lumière. Il en résulte une grande commodité dans la comparaison des phénomènes qui sont pratiquement synchrones et la vérification de ce synchronisme est rendue plus aisée encore grâce à la brutalité avec laquelle le phénomène apparaît ; il lui suffit en général de quelques minutes pour atteindre son maximum.

Revenons-en maintenant aux rayonnements corpusculaires. Ils ne possèdent plus l'heureuse propriété des rayonnements photoniques rectilignes, ils sont déviés par le champ magnétique terrestre. Les vérifications si commodes que permet le synchronisme n'y sont plus applicables. Leur vitesse n'est pas connue et les corpuscules qui les composent ne le sont pas non plus, non plus que le signe et la valeur de leur charge électrique. Ils sont suscep-

tibles de provoquer dans la haute atmosphère des rayonnements secondaires. En un mot ils présentent un très grand nombre de paramètres dont la valeur est à trouver, valeur qui d'autre part peut être variable et multiple.

Il y a de grandes chances que les éruptions chromosphériques de forte intensité et qui sont assez rares déclenchent au même instant les rayonnements électromagnétiques énumérés ci-dessus et les rayonnements corpusculaires. Divers auteurs ont mis à profit cette hypothèse pour mesurer la durée de parcours des rayonnements corpusculaires en associant au même essaim corpusculaire, un départ au moment de l'éruption chromosphérique et une arrivée au moment d'un orage magnétique terrestre à début brusque. Il faut reconnaître que les durées de trajets ainsi trouvées correspondent à des valeurs assez cohérentes comprises pour la plupart entre 26 heures et 40 heures. Nous avons nous-mêmes succombé à cette tentation en utilisant les documents si riches que nous donne l'enregistrement permanent du niveau des atmosphériques [2]. Nous nous sommes heurtés, comme tout le monde d'ailleurs, à de nombreuses difficultés dont je citerai seulement deux. La première sera nettement surmontable dès que notre réseau de documentation se sera étendu aux diverses longitudes. Une éruption chromosphérique en effet ne peut être enregistrée que sur l'hémisphère éclairé. Quand un orage magnétique à début brusque survient dans la matinée en France, il y a bien des chances que l'éruption chromosphérique à laquelle il doit être associé ait eu lieu l'avant-dernière nuit. Elle n'est donc pas décelable par un renforcement d'ondes longues ou par un évanouissement d'ondes courtes. La seconde difficulté est celle que provoque un embarras de richesses aux environs du maximum du cycle d'activité solaire. Il peut y avoir à cette époque un si grand nombre d'éruptions et de perturbations ionosphériques à début brusque qu'il devient arbitraire de faire un choix, aussi avons-nous porté notre effort sur quelques résultats assez rares correspondant à la période de faible activité s'étendant de 1941 à 1946 (Voir La Météorologie, *loc. cit.*).

Il semble bien qu'à la belle collection de phénomènes physiques rattachés aux éruptions chromosphériques il faille ajouter une pièce rare mais une pièce de choix. En effet des renforcements brusques de l'intensité du rayonnement cosmique ont été signalés au moins à deux reprises. La première en février-mars 1942 et la seconde le 25 juillet 1946. Commençons par la seconde. Elle

a été constatée à Manchester [3]. Le maximum du renforcement a été atteint entre 1800 et 1830 T. M. G. Or, à cette même date a sévi une éruption chromosphérique d'une violence et d'une durée tout à fait exceptionnelles dont on peut fixer le début entre 1615 et 1620 T. M. G., un renforcement d'atmosphérique sur 11.000. m de longueur d'onde à Paris et au Maroc, un évanouissement total des ondes décamétriques à Paris où étaient enregistrés les champs de la B. B. C. à Londres et de Moscou, un crochet magnétique à l'Observatoire de Chambon-la-Forêt, etc... Il n'y a donc pas de synchronisme entre le renforcement brusque du rayonnement cosmique et l'éruption chromosphérique. Celui-là était en retard d'environ deux heures sur celle-ci. S. E. Forbush a signalé [4] le même phénomène de renforcement brusque à la même date 25 juillet 1946 à Cheltenham environ une heure après le début de l'éruption. Il signale que des résultats analogues ont été obtenus au Groenland (78° Nord), en Nouvelle-Zélande (48° Sud), c'est-à-dire aussi bien dans l'hémisphère éclairé que dans l'hémisphère nocturne. Ce dernier fait et le retard, même faible, du renforcement cosmique sur l'éruption apportent la preuve d'un rayonnement corpusculaire. Le même auteur signale deux autres renforcements brusques du rayonnement cosmique le 28 février 1942 et le 7 mars 1942. Février et mars 1942 nous ont donné à Paris des renforcements brusques nombreux des ondes de 11.000 m. mais aucun ne s'associe avec les heures signalées par S. E. Forbush. Une éruption chromosphérique a été observée le 28 février à 1107, environ une heure avant le maximum cosmique, et un évanouissement brusque a été signalé le 7 mars par Forbush, il se place aussi environ une heure avant le maximum cosmique du même jour.

Les renforcements brusques du rayonnement cosmique sont suivis, dans un délai dépassant 24 h., d'une chute brusque du même rayonnement, chute qui paraît s'associer au déclenchement d'un orage magnétique brusque, mais qui ne semble pas l'être directement à l'éruption chromosphérique. Duperier et Mc Caid ont publié [5] les résultats obtenus en février 1946 aux dates mêmes où régnait une activité solaire exceptionnelle, particulièrement riche en P. I. D. B. Les auteurs ne signalent aucun renforcement brusque du rayonnement cosmique mais des diminutions importantes. Il est vrai qu'ils ne possèdent de données d'observation que toutes les deux heures.

On est donc amené à se demander si certaines éruptions chro-

mosphériques particulièrement intenses ne sont pas synchrones avec l'émission par le Soleil de rayonnements corpusculaires très rapides atteignant la terre en moins de deux heures et qui seraient responsables des renforcements brusques de l'intensité du rayonnement cosmique. Ce serait là l'un des premiers points de contact direct entre l'étude radioélectrique des perturbations de l'ionosphère et l'étude du rayonnement cosmique. De toute manière signalons à quel point l'enregistrement permanent du rayonnement cosmique au moyen du radiocinémographe (1) serait utile au même titre que l'ont été, et que le sont encore, les enregistrements du niveau moyen des parasites atmosphériques par les mêmes radiocinémographes. On aurait ainsi, en plus de la commodité, des renseignements plus précis sur l'heure de début et sur la forme des renforcements brusques.

Laboratoire national de Radio-électricité,
Bagneux, près Paris.

21 avril 1947.

BIBLIOGRAPHIE

1. E. V. Appleton, *Philosophical Magazine*, **37**, n° 265, février 1946, p. 73-84.
2. R. Bureau, Ionosphère terrestre et chromosphère solaire, *La Météorologie*, janvier-juin 1945.
3. Dolbear et Elliot, *Nature, London*, **159**, 1947, p. 58.
4. S. E. Forbush, *Physical Review*, **70**, 1946, p. 771-772.
5. Duperier et Mc Caid, *Nature*, **157**, 1946, p. 477.

---

(1) L'application du radiocinémographe aux photo-compteurs a déjà été employée par A. Dauvillier, *Journal de Physique*, février 1942, p. 29-40 et juin 1943, p. 127-128.

SOLAR INFLUENCES ON THE EARTH'S MAGNETISM AND ON THE UPPER ATMOSPHERE

by

S. CHAPMAN

S_q character figures. — In the second Report of the Committee, p. 5, the following resolution by the Committee was printed (1929) :

« The Committee considers it desirable that the daily character figures for magnetic disturbance be supplemented by daily character figures relating to the amplitude of the portion (1) of the daily magnetic variation which is of quiet-day type, as representing a separate phenomenon varying independently of the degree of magnetic disturbance. »

A first great step towards this objective has now been made by J. Bartels ; his character figures are based on the S_q variation of the horizontal component of magnetic force at the Huancayo (Peru) magnetic Observatory of the Department of Terrestrial Magnetism of the Carnegie Institution of Washington. The first results of his studies (reported elsewhere in this volume) indicate remarkably close correlations between the relative sunspot numbers and his new S_q character figures, taken as representing the changing intensity of the solar wave radiation that ionizes the conducting upper-atmospheric layer in which the S_q field is generated. They indicate also that the 27 day recurrence tendency is manifested by S_q as well as by magnetic disturbance.

---

(1) This is now generally dented by S_q (Solar daily magnetic variation of quiet-day type).

Studies in geomagnetism. — *a*) V. C. A. Ferraro and the writer have further developed their theoretical studies on geomagnetic storms. A solution [1] of a model problem chosen to illustrate their conception of the nature of the first phase of a magnetic storm is interpreted as clearly showing that when a neutral ionized stream advances into regions of increasing magnetic intensity in a magnetic field, the electrostatic attraction between the ions and electrons can carry the electrons forward provided that the stream is sufficiently dense far beyond the limits they could attain to if alone.

b) In another paper [2] the same authors consider the radial stability of a ring current of neutral ionized gas surrounding the Earth in the plane of its magnetic equator ; this is the type of ring current, of radius a few times that of the Earth, to which they attribute the magnetic changes observed in the latitudes between the auroral zones, during the main phase of a magnetic storm. They conclude that the ring current will be stable for radial displacements only if the magnetic intensity of the earth's main field, near the ring current, exceeds that of the ring current itself ; this condition is satisfied, for a ring current of intensity sufficient to produce the fields observed in low latitudes during a magnetic storm, only if the radius of the ring is a small multiple of that of the Earth. The condition seems adverse to the possibility of the ring currents of much greater radius considered by Störmer.

The radial oscillations of the ring current, considered in this paper, may account for some of the world-wide magnetic fluctuations during storms.

c) The writer has studied [3] the frequency and intensity of magnetic disturbance in the horizontal magnetic force at Greenwich ; the results confirm those of an earlier study of magnetic disturbance in Greenwich magnetic declination. The index of disturbance used in these papers was determined by a compound of S_q and magnetic disturbance.

d) The writer has discussed [4] different methods of representing — and computing — the lunar daily geomagnetic variation, or lunar geomagnetic *tide*, as J. Bartels and H. F. Johnston have named it.

e) J. C. P. Miller and the writer have described [5] their method — using Hollerith machines and punched cards — of determining lunar daily variations in geomagnetic and meteo-

rological elements. A practicable example of the use of the method will be published ere long, for the convenience of others who may wish to apply the same method.

Atmospheric studies. — *a*) A general review of present knowledge of the lunar atmospheric tide was given by the writer in his Presidential Address [6] to the International Meteorological Association at Washington in 1939.

b) Other papers by the writer refer to atmospheric sodium [7], [8], the photochemistry of atmospheric ozone [9], spectroscopic and other evidence as to the chemical composition and dissociation in the atmosphere [10], atmospheric scattering of light (with A. Hammad) [11], and ion-production (with A. M. Mian) [12].

The Sun. — Two papers [13], [14] dealing with the magnetism of the Sun discuss mainly the magnetic moments and fields of sunspots.

R. S. Richardson at Mount Wilson [15], and H. A. Brück and F. Rutllant at Cambridge [16] have confirmed the writer's expectation [17] that during a great magnetic storm the corpuscular stream from the Sun should produce additional absorption on the violet side of principal absorptions lines (e. g., the H and K lines of Ca II), due to Doppler displacement corresponding to a particle speed of the order 1.000 km./sec. Such absorption is discussed further by the writer in papers to be published; it should be more easily observable, though with a smaller Doppler displacement, shortly after the occurrence of any great solar flare.

Miscellaneous. — In a Kelvin Lecture [18] the writer expounded the theory of energy production within the sun (see also [19]), and the sun's action on the ionosphere, especially during great magnetic storms. Part of another lecture [20] described the work of C. Chree on solar and terrestrial magnetic relationships.

43 High St, Oxford. July, 1947.

REFERENCES

1. *Terrest. Mag. and Atmos. Elec.*, **45**, 1940, p. 245-268.
2. *Ibid.*, **46**, 1941, p. 1-6.
3. *Ibid.*, **46**, 1941, p. 385-400.
4. *Ibid.*, **47**, 1942, p. 279-294.
5. *Month. Not. Roy. Ast. Soc., Geophys. Supp.*, 4, 1940, p. 649-669.
6. *International Meteorological Association, Washington Report, Procès-verbaux*, Part. II, 1940, p. 1-40.
7. *Meteorological Magazine*, **73**, 1938, p. 137-139.
8. *Astrophys. Journal*, **90**, 1939, p. 309-316.
9. *Reports on Progress of Physics*, **9**, 1943, p. 92-100.
10. *Quart. Journal Roy. Meteor. Soc.*, **65**, 1939, p. 310-313.
11. *La Météorologie.*
12. *Terrest. Mag. and Atmos. Elec.*, **47**, 1942, p. 31-44.
13. *Month. Not. Roy. Ast. Soc.*, **103**, 1943, p. 107-130.
14. *Terrest. Mag. and Atmos. Elec.*, **49**, 1944, p. 37-42.
15. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 1944, p. 558.
16. *Month. Not. Roy. Ast. Soc.*, **106**, 1946, p. 130.
17. *Month. Not. Roy. Ast. Soc.*, **89**, 1929, p. 456.
18. *J. Inst. Elec. Eng.*, **88**, 1941, p. 400-413.
19. *Month. Not. Roy. Ast. Soc.*, **102**, 1942, p. 110-130.
20. *Proc. Phys. Soc.*, **53**, 1941, p. 629-657.

REVIEW OF SOME CONTRIBUTIONS TO SOLAR AND TERRESTIAL MAGNETISM

by

T. G. Cowling

The electrical conductivity of solar material and of the ionosphere have recently been considered by Cowling [1]. The sun's conductivity is so great that lines of magnetic force are effectively « frozen » into the material ; that is, the material can flow freely along the lines of force, but motion transverse to the lines of force is very difficult unless the material can carry the lines of force with it.

This fact implies that a sunspot magnetic field grows or decays because a magnetic field is convected up to the surface, or is sucked back [2]. It also may be important in considering solar disturbances. If material in motion displaces the lines of force at one level, at higher levels the lines of force must push the material about [3], thereby generating electric fields. Such electric fields may produce electric discharges which become visible as chromospheric flares. The electric fields produce discharges only in so far as they cannot be balanced by making the material move with the magnetic field ; this implies that flares arise only in special circumstances, which have been considered by Waldmeier [4] and Giovanelli [5]. Alfvén [6] and others have also suggested that prominences may be due to similar electric discharges ; but Alfvén does not seem sufficiently to have considered the possibility that electric fields might be balanced by the convection of material with the magnetic fields.

In the ionosphere, Cowling showed that if negative ions were as plentiful as often supposed, the collision-interval for electrons would largely be determined by collisions with ions.

Observation shows that collisions with ions are unimportant in the E-layer, and so that there can be at most 25 negative ions per electron there. This results in a much reduced conductivity of the E-layer, integrated over all heights — at most 3×10^{-7} E. M. U., as against 10^{-5} E. M. U. suggested by Chapman and Bartels [7]. The conductivity of the F-layer, so far as it affects dynamo theories of the solar and lunar geomagnetic variations, is also reduced in effect when account is taken of the difficulty of motion across the lines of force in this layer.

In 1939-1940, H. Alfvén set forward a theory of magnetic storms and aurorae [8]. This, like Chapman and Ferraro's theory of magnetic storms, attributes them to a stream of ions and electrons emitted from the sun; it differs from that theory by taking into account the sun's magnetic field, and supposing that the magnetic fields due to the motions of the particles do not affect these motions. The theory has been criticized by Cowling [9], who pointed out that too little account was taken of the electric field of ions in considering the motions of electrons, and *vice versa*; also a serious energy difficulty appears, making it improbable that ions and electrons would reach the auroral zones in the manner assumed by Alfvén. Cowling's conclusion was that the stream of charged particles must be either denser, or more energetic, than Alfvén supposed.

Bangor. March 1947.

REFERENCES

1. T. G. Cowling, *Proc. Roy. Soc. Lond. A.*, **183**, 1945, p. 453.
2. T. G. Cowling, *Month. Not. Roy. Ast. Soc.*, **106**, 1947 (in press).
3. H. Alfvén, *Ark. f. Mat,Ast. Fys.*, **29 B**, nº 2, 1942.
4. M. Waldmeier, *Experientia*, **2**, nº 9, 1946.
5. R. Giovanelli, *Nature*, **158**, nº 4003, 1946.
6. H. Alfvén, *Ark. f. Mat. Ast. Fys.*, **27 A**, nº 20, 1940.
7. *Geomagnetism* (Oxford University Press, 1940), p. 537.
8. H. Alfvén, *Stockholm, Vet-Ak. Handl.*, **18**, nº 3, 1939 and nº 4, 1940.
9. T. G. Cowling, *Terr. Mag.*, **47**, 1942, p. 209.

SOLAR INFLUENCES ON GEOMAGNETISM AND ON THE UPPER ATMOSPHERE

by

V. C. A. Ferraro

1. *Magnetic Storms.* — The following is a brief account of the theoretical work done by the writer elucidating certain points in the theory of magnetic storms which was proposed by S. Chapman and the writer some years ago. A report on the work carried out by the writer in collaboration with S. Chapman (referred to in the last issue of this report) will be found elsewhere in this volume.

The writer has considered [1] the induction of electric currents in a neutral ionized stream of solar corpuscles moving in the Earth's magnetic field in the case when the flow of currents is without resistance, i. e. when the electronic collisions are negligible, as is likely to be the case with a solar stream. It is shown that these currents are confined mainly to a surface layer, as in the case of conduction according to ohm's law, and that the thickness of the layer depends solely on the electron density, and varying inversely as the square root of this density. This removes certain difficulties which had appeared in the calculation of the currents induced in the solar stream during its approach towards the earth, and to which, in the above theory, is ascribed the first phase of a geomagnetic storm (*vide* a general account of this theory by the writer [2]).

The writer has also considered afresh the stability of a geomagnetic ring-current, to which the main phase is attributed. It is shown that the neglect of the displacement current in the idealised problem considered by S. Chapman and the writer [3]

was justified, and though it is found that the model geomagnetic ring is strictly unstable, the rate at which unstability sets in is so slow that the ring would persist unchanged for several days.

2. *Upper Atmosphere.* — Because of diffusion, E. O. Hulburt [4] in 1939 had expressed doubts regarding the possibility of accounting for a stable bank of ionization much above 250 km. In two papers [5], [6], the writer has investigated afresh the problem of diffusion of ions in the ionosphere. In [5] it was shown that diffusion is negligible in the E and F_1 layers, but that, as regards the F_2 layer, the extent to which diffusion takes place was more difficult to estimate, owing principally to uncertainties as regards the values of the molecular density and temperature of the air at this level. Taking these to be of the order of 10^{10} mol. per cc. and 1.000° K respectively, diffusion in the F_2 layer was shown to be slight, if not negligible. In the later paper [6] a recalculation was made taking the air density to be 10 times smaller, i. e. 10^9 mol. per cc. The computed daily variation of the maximum electron density was compared with the observed curves for this maximum electron density at Watheroo at the equinoxes, and was found to be markedly different. The same was also true when the *annual* daily variation of the maximum electron density at Watheroo was considered. This added considerable support to the conclusion reached in [5] that diffusion is likely to be only slight in the F_2 layer also, and that, in consequence, the air density at this level in the atmosphere can scarcely be less than 10^{10} mol. per cc.

The suggestion made by Ta-You Wu [7] that the high value of the coefficient of recombinations of the electrons with the positive ions in the E layer might be explained by assuming a large preponderance of positive ions over electrons was shown by the writer to be untenable [8]. It was also shown that, as has been usually supposed, the ionized layers of the atmosphere must be electrically neutral to a high degree of approximation.

University of London,
King's College, London, W. C., 2

26 March 1947.

REFERENCES

1. *Proc. Lond. Math. Soc.*, Ser. 2, **49**, 1945, p. 77-98.
2. *The Observatory*, **56**, 1933, p. 253-259.
3. *Terres., Mag.*, **46**, 1941, p. 1-6.
4. *Terrestrial Magnetism and Electricity*, edited by J. A. Fleming, New York, 1939, p. 527.
5. *Terres. Mag.*, **50**, 1945, p. 215-222.
6. *Terres. Mag.*, **51**, 1946, p. 427-431.
7. *Terres. Mag.*, **50**, 1945, p. 57-62.
8. *Terres. Mag.*, **50**, 1945, p. 223-230.

PROPOSED RESEARCH BY THE DEPARTMENT OF TERRESTRIAL MAGNETISM, CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON

by

M. A. Tuve, Director.

The past researches in terrestrial magnetism and electricity of the Department of Terrestrial Magnetism have been to a large extent connected with the Sun. A number of these studies have been described in previous reports communicated to the Commission. Since the conclusion of the war, several new investigations, of interest to the Commission, have been initiated and I shall indicate them briefly, leaving to the other members of the Department the task of reviewing some of the progress of pertinent activities during the past five years. (See articles by A. H. Shapley, pp. 116-120, E. H. Vestine, p. 121, and H. W. Wells, pp. 78-80.)

One of the projects in which the Department is engaged is the investigation of solar (radio) noise, a phenomenon which has been noted by various observers at times of intense solar activity and radio fade-outs. Initial instrumentation for measuring this noise at various radio frequencies is nearly complete. These measurements are expected to yield new information relating to the cause of this type of solar radiation.

Another project concerns the investigation of ionospheric storms — electrical disturbances in the ionosphere due to ultraviolet light and charged particles emanating from the Sun which also influence the Earth's magnetic field and cause large electrical currents to flow within the atmosphere and the Earth. During the past year a new motion-picture recording technique, known as a panoramic recorder, was developed at the

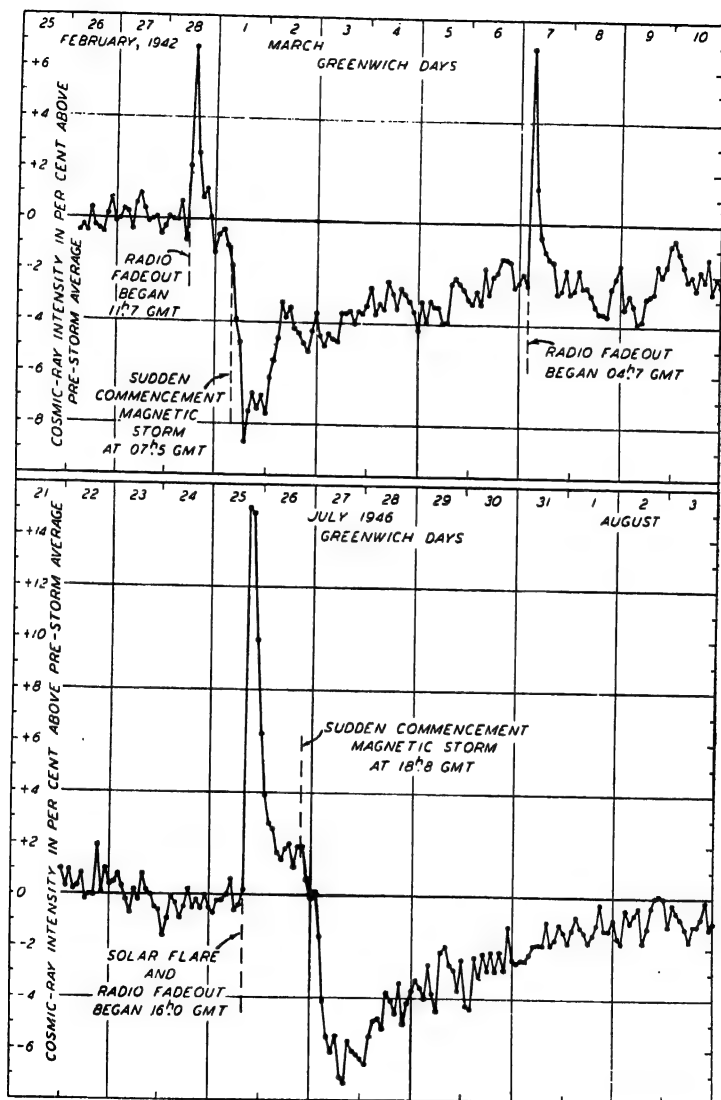



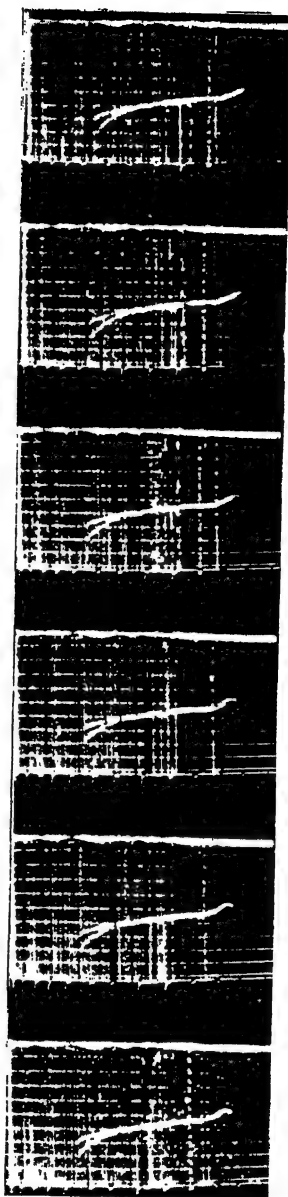
FIG. 1. — Three unusual increases in cosmic-ray intensity at Cheltenham, Maryland, during solar flares and radio fade-outs.

Department of Terrestrial Magnetism. By means of this new apparatus, heretofore unsuspected rapid motions and fluctuations in the ionosphere have been revealed. The instrument operates in the few seconds over a frequency-range of approximately 1 to 20 Mc and photographs the echo-pattern on a cathode-ray screen and the finished record on 16-mm film is projected as a motion picture.

During the early tests of this apparatus in March 1946 (Pl. I), there occurred a severe ionospheric storm which led to the discovery of startling movements and fluctuations. Rapidly moving clouds of ionization were traced downward at apparent velocities of nearly one mile a second. It is thought that the clouds are closely related to the corpuscular streams from the Sun which produce ionospheric and magnetic storms, and it is known that they contain ions and electrons capable of reflecting certain radio waves. The discovery is important since it supplements our basic investigation of solar phenomena as they affect the Earth.

An examination of ten years of continuous records has revealed three abrupt increases of from 8 to 20 per cent in cosmic-ray intensity. Each of these increases began one hour or less after the occurrence of solar flares with simultaneous radio fade-outs (fig. 1) and at least one of them was accompanied by radio noise. An examination of the magnetic records indicated that the increases in cosmic-ray intensity are not ascribable to large currents in the ionosphere arising from ultraviolet ionization responsible for the diurnal variation of geomagnetism. The most reasonable hypothesis to date is that these cosmic-ray « Sun bursts » are due to particles accelerated in some way by the flare itself. It is also hoped to determine whether smaller increases are accompanied by solar radio noise.

The determination of the secular change in the geomagnetic elements in past ages through examination of sediments, interrupted by the war, has now been resumed. An expedition to Bradford and South Newbury, Vermont, resulted in the collection of a new series of varves representing sedimentation during approximately 1.500 years. Another expedition has recently visited Ecuador and collected magnetic glacial clays in the region of Riobamba. It is also planned to collect sediments in other parts of the United States and in Argentina where relative chronologies of the deposits have been established. It is the hope to

Six successive normal ionospheric 15 sec. records during three minutes afternoon March 19, 1946.

Six successive disturbed ionospheric 15 sec. records during three minutes of magnetic storm, March 25, 1946, showing rapid changes.

(Records are reproduced from original 16 mm film; height-markers are at 50 km intervals, frequencies are indicated from 1.5 to 14 mc/sec).

pursue this piece of research to a definite conclusion with the expectation of tracing the change in intensity and direction of the Earth's magnetic field through millions of years. Tentative conclusions drawn from preliminary measurements indicate that the Earth's field has not changed much in direction and intensity, at least in the case of sample clays thus far examined. These measurements may reveal new information relating to the Earth's history as a part of the solar system.

Consideration is being given to the making of magnetic measurements by instruments carried by rockets. The electric current systems causing geomagnetic disturbances are believed to have fields discontinuous in horizontal intensity along a vertical path through the current layer. In higher latitudes the magnitudes of discontinuity are expected to be large enough to permit direct measurements of heights of these current systems.

Department of Terrestrial Magnetism,
Carnegie Institution of Washington.

IONOSPHERIC RESEARCH DURING THE PERIOD 1939-1946

by

H. W. WELLS

Ionospheric research during the period 1939-1946 has continued to contribute valuable basic information regarding solar-terrestrial relationships. This period has seen a very large expansion in the number of ionospheric stations operated in all parts of the world. A primary reason which has led to the expansion of ionospheric observatories was the need for detailed knowledge of ionospheric characteristics in the interpretation and forecasting of radio wave propagation characteristics. There exists at present a generous distribution of ionospheric observing stations throughout Europe, North America, parts of South America, Asia, Australia, and parts of Africa. The only areas which do not at present seem to be adequately covered are the southern portions of South America and the central portions of Africa.

Radio waves continue to provide the means for determination of the ionospheric characteristics. In general the pulse technique of Breit-Tuve is universally applied, although significant progress is being made in the use of rockets for the study of phenomena in the upper atmosphere. Successful rocket flights have been made through the E layer to levels approaching the F-1 layer. As soon as rocket instrumentation is improved to permit successful transmission of upper atmosphere characteristics back to Earth, it is expected that direct measurements of significant interest to solar-terrestrial relationships will be made.

Considerable progress has been made in the improvement of apparatus for ionospheric research as the result of wartime developments. It is now possible for the first time to observe conti-

nuously the characteristics of the entire ionosphere. New « panoramic » type recorders sweep through a frequency range from approximately one to twenty megacycles in a few seconds. As these sweeps are repeated several times a minute, it is possible to observe or to photograph any rapidly changing ionospheric characteristics. Application of a motion picture recording technique to the panoramic recorder resulted in the discovery of hitherto unsuspected rapid ionospheric fluctuations and « cloud » movements during ionospheric-magnetic storms. It is believed that these « cloud » movements, which are observed to contribute significantly to F-2 layer ionization, are direct evidence of corpuscular emissions from the Sun.

Solar radiations affecting the ionosphere and geomagnetism may be classified in two general groups : (1) Electromagnetic radiation and (2) corpuscular radiation. Both types of radiation contribute to ionization of the ionosphere but their effects differ greatly.

The normal effects of solar electromagnetic radiation on the ionosphere have been well established. These account for diurnal, seasonal, and solar-cycle variations. A detailed knowledge of the normal characteristics in all parts of the world has provided a sound basis for forecasting ionospheric and radio wave propagation characteristics.

In general it has been determined that ionization in the F-2 layer is proportional to geomagnetic latitude. There exist belts of maximum ionization approximately 20° N and S of the geomagnetic equator. Ion density in the F-2 region decreases rather abruptly in the direction of the geomagnetic equator and decreases more slowly as one proceeds to higher latitudes from the belts of maximum intensities.

The effect of solar ultraviolet radiation of abnormal intensity is well demonstrated by the radio fade-out. This phenomenon continues to stand out in importance as the one direct link between a solar flare, radio fade-out, and geomagnetic pulsation. It is generally agreed that the ultraviolet light from a solar flare (chromospheric eruption) generates a high degree of ionization in the lower ionosphere — probably at levels of 70 to 80 km — which results in dissipation of energy of radio frequency waves and produces temporarily increased conductivity, thereby permitting the increased flow of electrical currents augmenting the normal magnetic diurnal variation.

Electromagnetic radiations from the Sun also produce noise signals in the radio frequency spectrum. Considerable interest is now being attached to the utilization of radio frequency noise measurements for the purpose of recording and studying solar activity. Measurements which have been conducted at frequencies of 200 megacycles indicate solar noise which greatly exceeds the values of calculated noise from black body radiation. This solar noise is apparently dependent on solar activity and one group of investigators has tentatively established sunspots as its origin.

The effects of corpuscular radiation from the Sun continue to be of great interest in ionospheric research. The close interdependence of ionospheric and geomagnetic storms has been well established. It is now becoming possible as the result of improved instrumental development mentioned earlier to determine the fine structure of ionospheric changes associated with magnetic storms. Although most of the magnetic-ionospheric relationships are statistical, one outstanding example of a direct relationship has been found as the result of operations at the College (Alaska) Observatory. The occurrence of a magnetic bay coincides with unusually high absorption in the ionosphere. The effect is similar to a radio fadeout but has been tentatively termed a polar radio black-out to distinguish it from the ultraviolet effect of a solar flare.

Another interesting relationship has evolved from simultaneous auroral and ionospheric observations, namely, that aurora overhead is accompanied by sporadic E-region ionization.

The foregoing comments provide a brief cross section of the trend of ionospheric research during the period 1939-1946. It is apparent that the ionosphere, being a sensitive medium between Sun and Earth, plays a very important role in the study and understanding of solar-terrestrial relationships.

Department of Terrestrial Magnetism,
Carnegie Institution of Washington.

ACTION DU RAYONNEMENT ÉLECTROMAGNÉTIQUE SUR LA PROPAGATION DES ONDES RADIO-ÉLECTRIQUES
STRUCTURE DE L'IONOSPHÈRE

GEOMAGNETIC CONTROL OF F_2 LAYER IONISATION

by

Sir Edward APPLETON, F. R. S.
(*Great Britain.*)

Summary. — It is shown that the ionisation in the F_2 Layer of the ionosphere is subject to a marked geomagnetic control. Ionospheric events in that layer are approximately reproduced at the same local time on a line of constant geomagnetic latitude and not along a line of constant geographic latitude.

I. — In a recent communication to « Nature » [1], the author has given a brief account of the results of a study of the world distribution of F_2 layer ionisation. Such a study has only become possible in recent years, when, to serve the operational requirements of the Allied Forces, many new ionospheric stations have been set up in different parts of the world. The chief results which have emerged from this study of F_2 layer morphology can best be illustrated by considering the local noon values of critical frequency at the equinoxes, when the earth is symmetrically illuminated by the sun with respect to the geographic equator. From these values it has been deduced that (*a*) for a constant longitude, the noon values of ionisation at the same numerical latitude, north and south of the equator, are not necessarily equal, and (*b*), there is a variation of noon ionisation with longitude along a line of constant latitude. It will thus be seen that, according to these results, it is not possible simply to relate noon equinox values of critical frequency for the F_2 layer to the sun's zenith distance, as is possible in the case of the E and F_1

layers. An additional controlling factor has therefore been sought.

II. — In figure 1 is plotted the retation between equinox noon F_2 layer critical frequency and magnetic latitude, using all the data available to the author for March 1944. It will be seen that the anomalies mentioned above, which appear when ionisa-

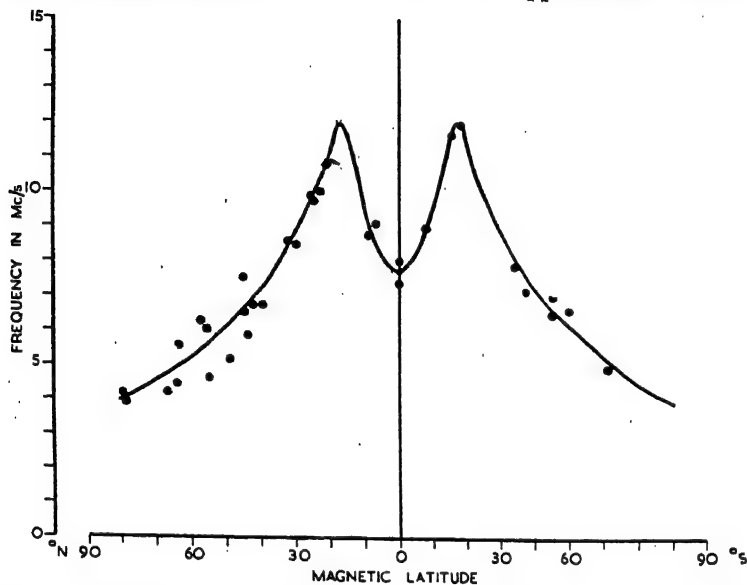



FIG. 1. — Relation between equinox noon values of F_2-layer critical frequency and magnetic latitude.

tion density is related to geographic latitude, have now substantially disappeared.

III. — One of the most remarkable features of figure 1 is the trough of low values of ionisation density centred on the geomagnetic equator. A study of the detailed ionospheric information available from stations between ± 18° magnetic latitude shows that these low values of ionisation are associated with a marked bifurcation of the F layer into its two components, the F_1 and F_2 layers. The phenomenon can thus be linked with others already identified previously in studies of the seasonal variation of F_2 layer noon ionisation at Slough (Lat. 51° 1/2 N.).

In measurements made at that station it has been found that there is a remarkable difference between summer and winter conditions. In winter the F layer appears fairly homogeneous and the ionisation density is high, whereas in summer, under conditions of reduced solar zenith distance, there is marked bifurcation of the layer into its two components and the ionisation of the upper component (F_2 layer) is much reduced. Moreover under such conditions of bifurcation the F_2 layer exhibits entirely different physical characteristics. The electron production rate at the layer maximum is much reduced as is also the electron recombination coefficient. Moreover the variation of ionisation is no longer substantially symmetrical about noon, there being often a minor minimum at mid-day with the major maximum of the day occuring in the evening.

It is therefore found that the equinox phenomena experienced at stations situated between magnetic latitude $\pm 18^{\circ}$ are similar to those experienced at Slough in a northern summer when the ionisation in the F layer as a whole is distributed through a great range of vertical heights. On the other hand, the ionisation maxima in figure 1, at $\pm 18^{\circ}$ magnetic latitude, are associated with a relatively thin homogeneous F layer without marked bifurcation.

IV. — The long term study of F_2 layer ionisation has shown that, as in the case of the E and F_1 layers [2], there is marked variation of ionisation in sympathy with the trend of the sunspot cycle. Such a correspondence is most strikingly exhibited if ionisation density is compared with calcium flocculi figures [3] [4]. But, in addition, the author has found that the ratio $\frac{N_{max.}}{N_{min.}}$, where $N_{max.}$ and $N_{min.}$ refer to noon ionisation densities at sunspot maximum and minimum respectively, is not constant at any station for each month in the year. For example this ratio is approximately 2 for the summer months (May, June and July) at Slough and approximately 4 for the winter months (November, December and January). Such a variation indicates that either the intensity of the ionising radiation, or the atmospheric medium which is ionised, varies throughout the year. From a study of similar phenomena at a number of stations in addition to Slough, the author suggests that it is the variation of the atmospheric medium which is substantially responsible.

REFERENCES

1. Appleton, *Nature*, **157**, May 25th, 1946, p. 691.
2. Appleton and Naismith, *Phil. Mag.*, **27**, Feb. 1939, p. 144.
3. Goodall, *Nature*, **143**, June 10th, 1939, p. 977.
4. Appleton, *Nature*, **144**, July 22nd, 1939, p. 151.

SOLAR ABNORMAL EFFECTS ON THE PROPAGATION OF VERY LONG WIRELESS WAVES

by

J. A. Ratcliffe

Introduction. — For some years before the outbreak of war in 1939 there was undertaken at Cambridge a series of experiments [1] on the propagation of very long wireless waves in the region of wavelengths 15,000 m. to 18,000 m. In one set of experiments a detailed measurement was made of the amplitude, polarisation and phase of downcoming waves of length 18,750 m, incident on the ionosphere at an angle of about 60° with the normal. In another experiment a record was made of the amplitude, resulting from the addition of a ground wave and downcoming waves, from a sender at a distance of 750 km. and working on a wavelength of 15,150 m. It was deduced that the reflexion of these waves took place from a height of about 70 km. by day and 80 km. by night, so that their behaviour gave information about the ionisation of the terrestrial atmosphere at those levels.

During the course of the experiments it became apparent that two distinct types of anomalous behaviour were sometimes observed, each probably due to anomalous occurences in the sun [2]. It is the purpose of this note to give a short account of these anomalies and to suggest that a detailed study of the propagation of very long waves may prove a fruitful source of further information about solar disturbances and their terrestrial effects.

Catastrophic Anomalies. — One type of anomaly occurred suddenly and lasted for a time of the order of half an hour. It appeared to be closely related to that type of catastrophic

disturbance which is evidenced on shorter wavelengths as a « fade-out » of the so-called « Dellinger » type. On the very-long waves this kind of disturbance usually showed itself as a change in the phase of the downcoming wave such as would correspond to a lowering of the reflexion height. At the more normal incidence there was sometimes an indication of a decrease of amplitude, and at the more grazing incidence an increase in amplitude, but these were secondary effects compared with the clear-cut changes of phase. On these occasions it appeared that there was a sudden increase of ionisation density at a height of about 70 km. and that this increase lasted for times which varied from 10 minutes to one hour, with an average of about quarter of an hour.

An attempt was made to correlate the occurrence of the very-long-wave anomalies with « fade-out » effects reported on short waves and it was found that out of 30 short-wave « fade-outs » reported during periods of long-wave-phase observation 27 coincided with long-wave-phase anomalies, and out of 66 fade-outs reported during the period of intensity-recording on 15,500 m., 63 coincided with long-wave anomalies. It seems clear that the long-wave-phase anomaly is merely another method of detecting the occurrence of a catastrophic ionospheric disturbance. The value of using this effect as an index is that it is known to relate to a given height in the ionosphere, whereas it is not known with such certainty at what height the increase in absorption, responsible for a fade-out, occurs.

The catastrophic long-wave disturbance is closely allied to the sudden increases of atmospherics which are observed by Bureau [3] on similar occasions.

Long Lived Anomalies. — From January 1938 to August 1939 a routine measurement was made at mid-day of the phase and amplitude of the downcoming wave on 18,750 m. at nearly vertical incidence. It was found that these quantities exhibited a regular annual variation. It was, however, found that, on a few occasions, there were marked departures from the regular behaviour, and these departures lasted for several days. The most clearly-defined anomaly of this kind occurred on April 16th 1938 and showed as a marked lowering of the reflexion height, which did not recover its normal value till May 2nd. It appears probable that the cause of this anomaly was associated with that of the intense magnetic disturbance which occurred on April 16th.

Another anomaly occurred on Juanary 25th 1938 and the recovery occupied about 10 days. On this occasion there was a marked decrease in the amplitude of the long waves, but a less clearly-marked effect on the phase. There was also an intense magnetic disturbance on January 25th. These long-lived anomalies do not always occur when there is intense magnetic disturbance ; there were no such effects during the magnetic disturbances of April and May 1939. It appears probable that on some occasions of intense ionosphere disturbance there is an effect in the lower regions (70-80 km.) which requires one or two weeks to recover. A similar effect was noticed by Anderson [4] as a result of his recordings of the amplitude of trans-Atlantic long-wave signals.

Cavendish Laboratory, Cambridge. 28th March 1947.

REFERENCES

1. *Proc. Roy. Soc.*, **156 A**, 1936, p. 614.
Proc. Roy. Soc., **171 A**, 1939, p. 188.
2. *Nature*, **140**, 1937, p. 1060.
3. Bureau, *Comptes rendus*, **203**, 1936, p. 1257.
4. Anderson, *Proc. Inst. Rad. Eng.*, **16**, 1928, p. 297.

SUR LES RELATIONS ENTRE LA RÉGION D DE L'IONOSPHÈRE ET LES ÉRUPTIONS CHROMOSPHÉRIQUES

par

Mme et M. Étienne Vassy

On sait que d'une façon générale l'ionisation des hautes couches de l'atmosphère est due au rayonnement solaire. Mais plus particulièrement de nombreux travaux ont établi la relation entre les éruptions chromosphériques et les perturbations ionosphériques à début brusque et montré que ces phénomènes sont accompagnés d'une augmentation de l'ionisation dans la région D vers 70-80 km.

Le problème est d'expliquer par quel mécanisme le rayonnement ultra-violet émis au cours des éruptions chromosphériques (le seul susceptible d'être actif, puisque seul l'hémisphère éclairé est affecté par ces perturbations ionosphériques) produit une ionisation anormale de la région D.

Martyn [1] avait proposé une solution faisant appel à l'action d'un rayonnement correspondant à la raie Lα de l'hydrogène. La question se pose alors de savoir si la raie Lα peut pénétrer jusqu'à la région D sans être absorbée.

Wulf [2] proposait l'ozone comme élément ionisable, mais sans donner de précisions sur les longueurs d'onde actives.

En faisant le calcul de la pénétration du rayonnement ultra-violet solaire, tel que nous l'avons indiqué en 1942 [3], mais en utilisant les plus récentes données, on peut montrer que la longueur d'onde 1.215 Å (Lα) est absorbée dans la proportion de 999/1.000 à l'altitude de 107 km. l'été et 96 km. l'hiver, ce qui

élimine l'hypothèse de Martyn, et que seul un rayonnement de longueur d'onde supérieure à 1.800 Å peut atteindre la couche D.

Nous avons alors envisagé [4], [5] une autre hypothèse et supposé que l'élément ionisé était le sodium présent dans l'atmosphère à ces altitudes ; la densité superficielle, c'est-à-dire dans une colonne verticale de 1 cm^2 de section, a été donnée par Bricard et Kastler [6], elle est 10^{10} atomes ; admettons une loi de variation exponentielle avec l'altitude (on sait qu'elle a été vérifiée pour la partie supérieure de la couche), cela donne une concentration, supposée constante, de $6 \cdot 10^{-12}$. C'est exactement la valeur que nous avons pu déduire [3] des données radio-électriques. Nous ne voulons d'ailleurs pas insister sur cette trop belle coïncidence, tous ces calculs s'étayant sur des approximations larges et nombreuses. Il nous suffit de trouver des ordres de grandeur concordants ; d'ailleurs nous ne devons pas exclure la présence d'ions (Mg^+, K^+, etc.) ne donnant pas aussi facilement un phénomène lumineux mais pouvant accompagner le sodium dans l'atmosphère.

Nous voudrions insister sur le fait que la couche D ne nous paraît pouvoir être interprétée comme une couche de Chapman, du moins pas exclusivement. Les mesures radioélectriques de Budden, Ratcliffe, et Wilkes [7] ont montré un renforcement en novembre qui n'entre pas dans le cadre de la théorie de Chapman, et de plus ils ont constaté que l'altitude de la couche diminue en hiver de 3 km. environ tandis que la théorie indiquerait une augmentation. Toutefois si l'on tenait compte de la variation saisonnière de pression à 70 km. on pourrait peut-être expliquer cette variation d'altitude.

Restait à trouver le rayonnement ionisant émis au cours des éruptions chromosphériques avec une intensité exceptionnelle et susceptible de provoquer une augmentation importante de l'ionisation (et malheureusement impossible à chiffrer). Ce rayonnement doit être de longueur d'onde inférieure à 2.412 Å qui correspond au potentiel d'ionisation de Na. De l'étude des raies observées dans les spectres d'éruptions, et de leurs conditions d'excitation, nous avions pensé en rendre responsables les raies 1838 et 1840 Å de Ca^+, qui avaient des chances d'être émises. Ces raies sont à la limite de la région spectrale transmise par l'atmosphère et de ce fait susceptibles d'un important effet saisonnier par suite des variations de température des hautes couches de l'atmosphère. On peut aussi songer à l'important groupe de

raies du fer ionisé s'étendant de 2.270 à 2.412 Å, car C. W. Allen [8] a montré que toutes les raies de Fe^+ étaient fortement renforcées au cours d'une éruption chromosphérique.

Faculté des Sciences de Paris. Juillet 1947.

BIBLIOGRAPHIE

1. Martyn, Munro, Higgs et Williams, *Nature*, **140**, 1937, p. 603.
2. Wulf et Deming, *Terr. Magn.*, **43**, 1938, p. 283.
3. A. et E. Vassy, *Cahiers de Phys.*, nº 9, 1942, p. 28.
4. R. Jouaust et E. Vassy, *C. R. Acad. Sc.*, **213**, 1941, p. 139.
5. A. et E. Vassy *C. R. Acad. Sc.*, **214**, 1942, p. 282.
6. Bricard et Kastler, *Ann. Géophys.*, **1**, 1944, p. 17.
7. Budden, Ratcliffe et Wilkes, *Proc. Roy. Soc.*, **171**, 1939, p. 188.
8. C. W. Allen, *Monthly Notices*, **100**, 1940, p. 635.

RAYONNEMENT CORPUSCULAIRE ET PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES

GÉOMAGNÉTISME

THE ELECTROMAGNETIC CONDITIONS IN THE VICINITY OF THE SUN AND THE EARTH

by

H. Alfvén

For the relations between solar and terrestrial phenomena the electromagnetic conditions in the space between the Sun and Earth are of fundamental importance.

Although the dispute whether the Sun possesses a general magnetic field or not cannot be considered as definitely settled, all we know seem to be reconcileable with a dipole field having the polar strength of say 40 gauss [1]. At the solar equator the field is 20 gauss and as it decreases proportional to the cube of the distance it has at the distance of the Earth a value of $2 \cdot 10^{-6}$ gauss. The solar and terrestrial fields are equal at a distance of $3{,}5 \cdot 10^{10}$ cm. from the Earth.

The existence of a magnetic field of the order of microgauss within the planetary system is of great importance, because it makes every motion produce an electric field.

Suppose that a reference system $x'y'z'$ moves with the constant velocity v in relation to a « fix » system and that in the moving system there is an electric field E' and a magnetic field H'. Then the fields E and H as measured in the « fix » system are given by the relativistic transformations

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}' - \frac{1}{c}\,\vec{v} \times \vec{H}'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{H}' + \frac{1}{c}\,\vec{v} \times \vec{E}'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}\,.$$

Suppose that a conductor, e. g. an ion cloud, moves with the velocity v ($<< c$) in the solar magnetic field. If no electromotive force is active within the cloud, the electric field — *seen from a reference system moving with the cloud* — tends to zero. Seen from a reference system at rest the fields are (terms of the order v^2/c^2 being neglected)

$$\vec{E} = -\frac{1}{c}\vec{v} \times \vec{H}'$$

$$\vec{H} = \vec{H}'.$$

As geomagnetic disturbances frequently occur about one day after a pronounced solar activity, it is generally supposed that an ion cloud is emitted from the Sun with such a velocity ($v \approx 0{,}01\ c$) that it covers the distance from the Sun to the Earth in that time. An ion cloud moving in the vicinity of the Earth with this velocity produces an electric field

$$E = \frac{v}{c} H = 0{,}01 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^{-8}\,\text{ese} = 6\,\mu\,\text{volt/cm}$$

Hence when an ion cloud from the Sun reaches the neighbourhood of the Earth an electric field of the order of some μ volt/cm is applied.

That an ionised beam from the Sun to the Earth must be associated with an electric field, was first pointed out by Chapman and Ferraro [2]. This field is probably very important for the production of geomagnetic disturbances and aurorae. According to a theory of these phenomena which was proposed some years ago [3] the electrons and ions of the cloud drift in the terrestrial magnetic field under the action of this electric field. A current system is produced consisting of currents flowing in the equatorial plane at a distance of about seven times the Earth's radius, further currents along the magnetic lines of force and in the upper atmosphere in the auroral zone. The current system gives a magnetic field which agrees very well with the field which is actually observed during a magnetic storm.

The results obtained at a « terrella » experiment led Malmfors to propose a new theory [4]. According to this the aurora is not caused directly by charged particles of the ion cloud hitting the Earth. Instead the only direct effect of the cloud is the production of the electric field. The field causes a gaseous discharge, and Malmfors could show that such a discharge hits

the Earth exactly in the auroral zones. The current system produced through the discharge has not been calculated theoretically as yet, but it could be expected that it should not be very different from the system of the above mentioned theory [2].

As the auroral discharge starts at about seven times the radius of the Earth (say at a distance of $5 \cdot 10^9$ cm) the total voltage available is of the order of $6 \cdot 10^{6-} \cdot 5 \cdot 10^9 = 30\,000$ volts. If the ion cloud takes part in the solar rotation and causes a magnetic storm with a duration of two days its breadth near the Earth's orbit must be of the order of 10^{13} cm. The voltage difference between its eastern and western border hence amounts to no less than $6 \cdot 10^7$ volts, the eastern (advancing) border being negative.

As the Earth rapidly assumes about the potential of the cloud, its potential (in relation to interstellar space) must differ by $10^7 - 10^8$ volts during a magnetic storm, the Earth being most negative at the beginning and most positive at the end of the storm. As the Cosmic Radiation mainly consists of positive particles, a negative charge of the Earth means that a larger number of particles hit the Earth and also that their energy increases so that they produce more secondaries in the atmosphere. Consequently the measured intensity increases. In the same way a positive charge produces a decrease in intensity. That a change in electrostatic potential occurs during a storm is indicated by the fact that the Cosmic Radiation varies during a magnetic storm, the intensity being high at or immediatly before its beginning and low at the end of the storm [5].

As neither variations in the terrestrial nor in the solar magnetic field can produce the observed storm variations in Cosmic Radiation, the only possibility to account for them seems to be to assume that they are due to variations in the Earth's electrostatic potential. In extreme cases storm variations of more than 10 % are observed [6]. As the Cosmic Rays reaching the Earth have energies of 10^{10} volts and more, it seems not certain that the above effect is sufficient to account quantitatively for the variations, unless we assume that the solar magnetic field or/and the velocity of the cloud is greater than assumed. It may therefore be of interest to point out another possible cause of variations in the electrostatic potential.

Suppose that an uniformly magnetized sphere rotates around the axis of magnetization. If it is electrostatically neutral seen from a reference system which takes part in the rotation, it

becomes polarised seen from a fix reference system. The voltage difference between the pole and the equator is

$$V_0 = \frac{1}{c} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \omega R_0 \cos \varphi H_r R_0 \, d\varphi = \frac{a\omega}{cR_0},$$

(ω = angular velocity, R_0 = radius, φ = latitude, a = dipole

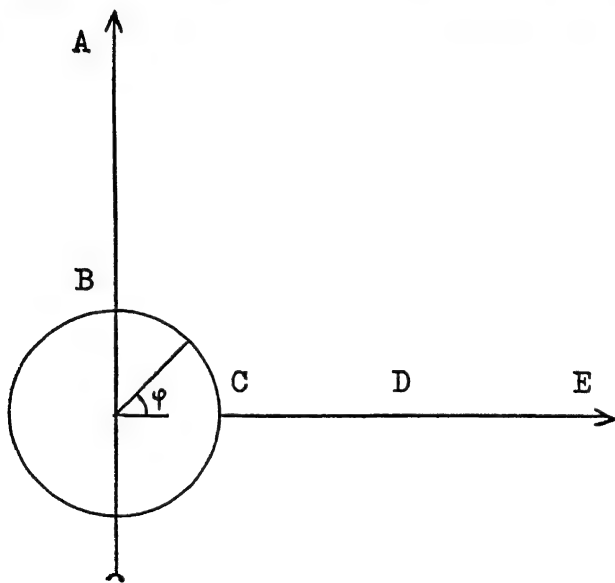



Fig. 1.

moment ; $H_r = \frac{2a}{R_0^3} \sin \varphi$ is the radial component of the magnetic field).

Suppose that this sphere is connected at the pole through a conductor BA and at the equator through a conductor CDE, the points A and E having zero potential (being connected to « infinity ») (fig. 1). If the conductor CDE takes part in the rotation of the sphere, no e. m. f. is induced in the circuit ABCDEA, because seen from the fix system the voltage difference between B and C is exactly compensated by the voltage induced in CDE.

If on the other hand CDE is at rest the e. m. f. of the circuit equals V_0 (as calculated above). The sphere acts as an unipolar (homopolar) inductor. An intermediate case is when the conductor CDE moves but not with the same angular velocity as the sphere. This is realized if for example the conductor consists of matter in the equatorial plane expelled from the Sun in such a way that the angular momentum has remained unchanged. This means that in the equatorial plane the velocity v at the axial distance r is

$$v = v_0 R_0 \frac{1}{r}$$

where v_0 is the equatorial velocity of the sphere and R_0 its radius.

The voltage induced in the conductor CDE becomes

$$V' = \frac{1}{c}\int_{R_0}^{\infty} v \cdot H \cdot ds = \frac{a}{c} v_0 R_0 \int \frac{dr}{r^4} = \frac{1}{3}\frac{a v_0}{c R_0^2} = \frac{1}{3} V_0$$

so that the total e. m. f. is

$$V_1 = V_0 - V' = \frac{2}{3} V_0.$$

Suppose that in one case the main resistance of the circuit is situated between C and D, and that in another case the main resistance is situated between D and E. The difference in potential of the point D in the two cases amounts to V_1.

Applying what is said to the solar conditions we find

$$(a \approx 7 \cdot 10^{33} \text{ gauss cm}^3 \quad \omega = 3 \cdot 10^{-6} \text{ sec}^{-1} \quad R_0 = 7 \cdot 10^{10} \text{ cm};$$
$$c = 3 \cdot 10^{10} \text{ cm/sec}) \quad V_0 = 10^7 \text{ esu} = 3 \cdot 10^9 \text{ volts}.$$

The analysis of the current system is difficult because we know very little about the density and the state of motion of the interplanetary matter. If matter is ejected from the Sun preferably in the equatorial plane and the Earth is supposed to be situated in D, the conditions may be somewhat similar to the case discussed above. If the emitted matter at a certain instant makes the conductivity high inside the Earth's orbit, and at some other instant high outside the Earth, a change of the Earth's electrostatic potential by a considerable fraction of V_0 may occur.

Consequently under certain conditions variations of the Earth's electrostatic potential by as much as the order of 10^9 volts may be possible. This is probably enough to account for the observed variations in Cosmic Radiation.

The electrostatic conditions in the Earth's vicinity are certainly very important. According to what is said above, we can regard the intensity of Cosmic Radiation as a measure of the electrostatic potential of the Earth, whereas the geomagnetic activity probably can be considered as a measure of the electric field strength in space near the Earth.

Stockholm, K. Tekniska Högskolan. May 1947.

REFERENCES

1. Compare Epstein, *Phys. Rev.*, **53**, 1938, p. 862 ; Thiessen, *The Observatory*, **66**, 1946, p. 230 ; H. Alfvén, *M. N.*, **105**, 1945, p. 3.
2. S. Chapman and V. C. A. Ferraro, *Terr. Magn.*, **36**, 1931, pp. 77, 171 ; **37**, 1932, pp. 147, 421 ; **38**, 1933, p, 79.
3. H. Alfvén, *Kungl. Vetenskapsak. Handl.*, III, Bd 18, nº 3, 1939 ; nº 9, 1940.
4. K. G. Malmfors, *Ark. f. mat., astr. o. fysik*, Bd 34 B, nº 1, 1946.
5. H. Alfvén, *Nature*, **158**, 1946, p. 618.
6. I. Lange and S. E. Forbush, *Terr. Magn.*, **47**, 1942, p. 331 ; A. Duperier, *Proc. Phys. Soc.*, **57**, 1945, p. 473 ; D. W. N. Dolbear and H. Elliot, *Nature*, **159**, 1947, p. 58.

RECHERCHES
SUR L'ORIGINE DES ORAGES MAGNÉTIQUES

par

Pierre BERNARD

Dans ces recherches [1], [2], qui ont été faites en utilisant notamment les listes d'éruptions publiées de 1936 à 1941 dans le « Bulletin for character figures of solar phenomena », et les magnétogrammes de Chambon-la-Forêt, on a cherché à faire correspondre, à chacune des perturbations magnétiques enregistrées dans cette station, une éruption de la liste considérée, en choisissant, lorsque plusieurs éruptions étaient signalées dans les jours précédant l'orage magnétique, la plus importante et la plus brillante et, toutes choses égales d'ailleurs, la plus rapprochée du centre du disque solaire. Malgré cette dernière convention, la répartition en longitude héliographique des éruptions retenues est pratiquement proportionnelle à celle de toutes les éruptions, montrant que leur position sur le disque n'influe pas en moyenne sur leurs effets magnétiques. On remarque cependant, au cours du temps, une variation de l'« efficacité » des éruptions situées respectivement à l'Est ou à l'Ouest du méridien central : ces dernières ont été plus efficaces de 1938 à 1941, le contraire ayant lieu en 1936 et 1937.

D'autre part, le début de chaque perturbation magnétique suit l'éruption correspondante d'un intervalle de temps qui, pour prendre des valeurs très dispersées d'un cas à l'autre, présente néanmoins dans ses moyennes annuelles une marche régulière : ces moyennes diminuent progressivement jusqu'au maximum des taches : 40^h en 1936, 35^h en 1937, puis sont comprises de 1938 à 1941 entre 24 et 29^h. Pour les années suivantes, les correspondances entre les perturbations magnétiques et les éruptions photo-

graphiées sur les clichés du spectrohéliographe de Meudon, ou les renforcements d'atmosphériques signalés par le Laboratoire National de Radioélectricité, indiquent une augmentation de l'intervalle qui reprendrait, au moment du minimum d'activité solaire, une valeur voisine de celle de 1936.

Cet intervalle de temps, d'ailleurs en accord avec ceux qui résultent des travaux antérieurs, représente-t-il bien une durée de propagation entre le Soleil et la Terre ? Il est permis d'en douter lorsque, suivant en cela une remarque de Ch. Maurain (Magnétisme terrestre, 1935, p. 54), on compare, toujours avec le moment du début de perturbations magnétiques terrestres, certains changements soudains de l'aspect des comètes : ces changements [3] sont en moyenne postérieurs à un orage magnétique si la comète est plus éloignée que la Terre du Soleil ; ils le précèdent au contraire si la comète se trouve à l'intérieur de l'orbite terrestre, mais, d'après les intervalles de temps observés, l'agent hypothétique responsable des deux perturbations terrestre et cométaire mettrait 5 jours à franchir une distance équivalente à cell du Soleil à la Terre. Ceci conduit à supposer que l'origine de la perturbation ne se trouve pas dans le Soleil, mais à une distance moindre de la Terre (de l'ordre de 0,2 rayon de l'orbite terrestre), où des nuages de particules ionisées, normalement en équilibre sous l'action de la pression de radiation émise par l'astre central, seraient, lors des augmentations anormales de cette radiation, chassés plus loin du Soleil, atteignant ainsi la Terre où ils provoquent à la fois orages magnétiques et aurores boréales. Cette hypothèse tire une certaine vraisemblance de l'existence, à des distances du Soleil qui sont bien de l'ordre voulu, des parties extérieures de la lumière zodiacale.

Institut de Physique du Globe de Paris.

BIBLIOGRAPHIE

1. P Bernard, Variation, au cours du cycle solaire, de l'intervalle de temps entre les éruptions chromosphériques et les perturbations magnétiques terrestres, *C. R. Ac. Sc.*, **220**, 29 janv. 1945, p. 179.
2. P. Bernard, Répartition des éruptions solaires en relation avec les orages magnétiques, *C. R. Ac. Sc.*, **220**, 4 avr. 1945, p. 506.
3. P. Bernard, Sur la relation de certaines transformations cométaires avec les perturbations du champ magnétique terrestre, *C. R. Ac. Sc.*, **224**, 20 janv. 1947, p. 209.

SOME OBSERVATIONS OF THE H AND K LINES IN THE SOLAR SPECTRUM DURING A MAGNETIC STORM

by

H. A. Brück and F. Rutllant (1)

During the time of visibility of the unusually large group of spots which first appeared on 1946 January 29 the profiles of the H and K lines were studied with the 21 foot Rowland concave grating of the Solar Physics Observatory, Cambridge. An attempt was made to trace any possible systematic variations in these profiles following upon a violent magnetic storm which commenced on February 7. Comparing observations taken shortly after the commencement of this storm with others taken during a time of magnetic calm slight indications were found of the existence of a small depression in the violet wings of both H and K (2) on the critical date of the storm. The present observations are in good agreement with earlier observations by Richardson at Mount Wilson Observatory, and appear to point to a velocity of some 750 km/sec. for the cloud of particles which comes from the Sun and is responsible for the magnetic storm.

Solar physics Observatory, Cambridge.

---

(1) *M. N.*, **106**, 1946, p. 130.
(2) Amounting to between 1 and 2 per cent of the intensity of the continuous spectrum.

LES ÉMISSIONS D'ÉLECTRONS PAR LE SOLEIL ET LEUR INFLUENCE SUR LES TRANSMISSIONS RADIOTÉLÉGRAPHIQUES

par

R. Jouaust

Il ne paraît plus douteux aujourd'hui que les aurores polaires soient dues à des électrons pénétrant dans l'atmosphère terrestre.

La courbure des rayons auroraux semble en apporter une preuve et R. Bernard a montré que les bandes de l'azote vers 100 km. d'altitude et provenant de la transition $N_2A \rightarrow N_2X$ ne pouvaient avoir leur origine que dans une excitation électronique.

Les aurores accompagnent généralement les orages magnétiques. Il semble donc bien que ceux-ci également soient dus à l'arrivée sur la Terre d'électrons émanés du Soleil et c'est par l'action de ceux-ci que divers auteurs ont cherché à expliquer ces perturbations.

Nous voudrions montrer que la radioélectricité prouve l'existence de ces électrons. On sait que les aurores sont le plus fréquentes sur une sorte de cercle centré sur le pôle de Gauss et ayant par rapport à ce pôle une distance angulaire d'environ 20°. C'est donc là que doit après un orage magnétique se trouver le maximum d'électrons. Or, nous avons eu l'occasion, au Laboratoire National de Radioélectricité à Bagneux, près Paris, de faire de nombreux sondages verticaux de l'ionosphère. Plusieurs de ces sondages ont eu lieu les jours qui ont suivi un orage magnétique. Nous avons alors constaté à côté des échos normaux d'autres échos qui semblaient provenir d'une distance de 3 000 km.

L'écho ainsi obtenu se composait en réalité d'échos de faible amplitude, mais très serrés et animés sur la plaque de l'oscillographe cathodique de mouvements indiquant une distance un peu variable.

Ces phénomènes semblaient bien dus à une diffusion des ondes radioélectriques par des nuages d'électrons et leur distance par rapport au lieu d'observation paraissait indiquer qu'ils venaient de la zone de maximum d'activité aurorale.

Eckersley qui a observé de semblables phénomènes place ces nuages d'électrons à une altitude d'une centaine de kilomètres.

On peut également considérer comme une preuve de l'arrivée sur la Terre d'électrons émanés du Soleil, ce qui a été constaté dans les régions polaires, en particulier à Tromsoë pendant l'Année polaire.

La couche E qui, sous nos latitudes présente au midi local son maximum d'ionisation, ne le présentait que vers le soir. Or, on sait que les électrons doivent aborder la Terre vers son côté « nuit ». Ce sont évidemment les électrons émanés du Soleil ou peut-être des électrons secondaires produits par eux, qui venaient ajouter leur action à ceux produits par photoionisation. De même dans les régions polaires, lors des fortes perturbations magnétiques, aucun écho ionosphérique n'était perceptible. Il semble, dit l'un des observateurs, qu'un rideau imperméable vînt se placer au-dessous de l'ionosphère normale.

Il paraît naturel de croire que, lors des orages magnétiques, les électrons d'origine solaire descendaient un peu plus bas que la couche E dans la région où les chocs sont nombreux et créaient ainsi pour les ondes une région d'amortissement considérable.

Ces nuages électroniques existent presque toujours lorsqu'il y a agitation magnétique sans qu'il y ait orage dans le sens que donnent à ce mot les physiciens qui s'occupent de magnétisme terrestre. Puisqu'ils diffusent les ondes, et que d'autre part, ils sont animés de mouvements, on doit observer un effet Doppler dans les transmissions radioélectriques. C'est ce qui arrive. En recevant en Europe des transmissions d'ondes étalonnées, on a constaté un effet Doppler correspondant à des déplacements atteignant 26 m. par seconde. Nous avons eu entre les mains les enregistrements magnétiques de Chambon-la-Forêt le jour où se produisait le phénomène auquel nous venons de faire allusion et nous avons constaté que précisément à l'instant où l'effet Doppler était sensible, les enregistrements magnétiques comportaient une

baie. Ce fait, d'autres semblables que nous ne signalerons pas ici, conduisent bien à penser que, chaque fois que l'activité magnétique est un peu élevée, on trouve sur le cercle de maximum d'activité aurorale des nuages d'électrons qui ne peuvent que provenir directement ou indirectement du Soleil. Comment ces électrons sont-ils émis ? Ceci sort de notre ressort et nous laissons aux spécialistes le soin d'examiner la question. Nous nous bornons à apporter la preuve de l'existence de ces électrons. Le fait que l'orage magnétique ne suit que d'environ 26 heures un évanouissement brusque des ondes courtes concomitant lui-même d'une éruption chromosphérique semble indiquer qu'ils ne quittent le Soleil qu'avec une faible vitesse et pourtant ils pénètrent dans notre atmosphère jusqu'à des altitudes de 80 à 100 km.

Cette question des vitesses pose un problème aux astrophysiciens qui auront également à envisager si les nuages dont nous venons de parler ne sont pas constitués d'électrons secondaires mélangés à des ions positifs et formant une sorte de plasma comme la colonne positive de nos tubes à décharge.

Nous voudrions maintenant dire quelques mots de la façon dont ces nuages électroniques réagissent sur les transmissions radiotélégraphiques et signaler un nouveau mode d'action du Soleil sur les télécommunications.

Les premières liaisons radiotélégraphiques eurent lieu des États-Unis en Europe et immédiatement il fut constaté tant aux États-Unis qu'en France que la valeur des transmissions était liée à l'agitation magnétique. Il semblait qu'il y eut corrélation entre le chiffre caractérisant l'état magnétique et le nombre de mots reçus par minute. Plus l'agitation magnétique était grande, plus la liaison radiotélégraphique était mauvaise. On constata même que les jours où il y avait orage magnétique la liaison par ondes courtes était impossible. Depuis on a constaté que le fait n'était pas général. C'est ainsi qu'au cours d'un orage magnétique, le trafic des États-Unis pour l'Angleterre était acheminé sur Buenos Aires qui le renvoyait. D'autres constatations faites en particulier sur les communications Est des États-Unis - Japon ont permis de voir quels étaient les parcours troublés par l'agitation magnétique. On sait que les ondes radioélectriques suivent en général le plus court chemin, c'est-à-dire le grand cercle joignant l'émetteur et le récepteur. Or, chaque fois que ce grand cercle tangente sur son parcours le cercle de maximum d'activité

aurorale ou en passe à proximité pendant un certain temps, on constate que l'agitation magnétique retentit sur les transmissions radiotélégraphiques.

Quelle en est la cause ? Nous avons dit plus haut que des ondes venant des États-Unis semblaient diffusées à certains jours par des nuages d'électrons et qu'une agitation magnétique caractérisait l'apparition de ces nuages.

C'est dans cette diffusion qu'il convient de chercher les troubles apportés dans les transmissions radiotélégraphiques dont le chemin tangente sur une partie de son parcours la zone du maximum d'activité aurorale. Lorsque l'état magnétique est troublé cette zone comporte un grand nombre de nuages d'électrons. Ceux-ci diffusent les ondes comme le brouillard diffuse la lumière.

On voit ainsi comment il y a une corrélation entre l'activité magnétique et les transmissions radioélectriques ; les deux phénomènes étant tous deux sous l'influence du Soleil.

1er février 1947.

EXPERIMENTS ON THE AURORAE

by

K. G. Malmfors

In Alfvéns theory of magnetic storms and aurorae it is assumed that charged particles, emitted from the Sun, are subjected to a drift motion due to the *electric* field arising from the polarization of the particle beam. Under some simplifying conditions Alfvén has analyzed the motion of the particles when the beam enters the Earth's magnetic field.

For a closer study of the motion of charged particles in a magnetic dipole field under the influence of a homogeneous electric field it was thought worth while to make some experiments on a model. Some results of these experiments will be given in the present paper [1].

The apparatus comprises a brass cylinder (length 70 cm., diam. 40 cm.) covered at the ends with glass plates. The chamber could be evacuated to a pressure of 10^{-3} - 10^{-4} mm. Hg. In order to provide an electric field in the chamber two insulated metal plates (60 × 25 cm.) were arranged vertically at a distance of 24 cm. In the centre of the chamber a magnetized steel sphere (diam. 10 cm.) was suspended, the magnetic axis being vertical. The moment of the magnet was determined as $M = 48\,500$ gauss cm³. The surface of the sphere was covered with flourescent powder.

The main results of the experiments may be summarized as follows. At a gas pressure of the order 10^{-3} - 10^{-4} mm. Hg there arise two illuminated rings on the sphere, one around each pole, when a voltage of some thousand volts is applied between the plates (fig. 1). The discharge is not visible, the only effect observed being the illumination of the flourescent

powder. If air is admitted successively, a visible discharge suddenly arises between the sphere and the negative plate, the rings remaining fundamentally unaltered. At a low gas pressure the discharge has to be initiated by emitting electrons from a filament placed at the far end of the chamber. Since the discharge starts by itself at a higher gas pressure it could be concluded that these primary electrons have no essential importance. The appearance and the position of the rings do not greatly depend on the applied voltage which was varied between 500 and 8 000 volts. With increasing voltage the rings are feebly displaced

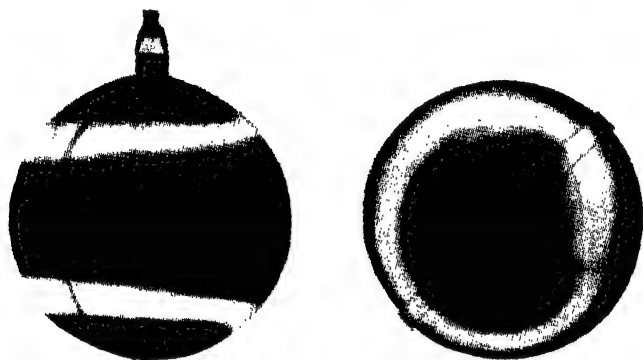



FIG. 1. — The rings seen from a point in the equatorial plane and from a point on the magnetic axis. In both cases the negative plate is to the right of the sphere.

towards the magnetic equator. As fig. 1 shows, the rings are not situated symmetrically with respect to the magnetic pole, the largest polar distance pointing to the positive place. By attaching a screen along a meridian plane on one side of the magnet it could be shown that the rings originate from electrons starting in a region between the sphere and the negative plate and that the electrons move in the direction of the drift motion due to the inhomogeneity of the magnetic field.

It may be pointed out that the phenomena described here have many features in common with those observed by Birkeland in his famous experiments. In these an electric field was applied with the purpose of accelerating electrons, the motion of which was to be studied in the magnetic field. The present experiments show, however, that the arcs and the rings observed

are not due to high-energy electrons entering the magnetic field but to electrons released near the magnet by an ionization process.

When applying these results to the auroral phenomena the following statements may be justified.

1. — According to Alfvéns theory the Earth is situated in an electric field during a magnetic storm. The auroral phenomena and the magnetic disturbances may not primarily be due to particles emitted from the Sun but to the electric field which gives rise to a *gaseous discharge* along the magnetic lines of force in the neighbourhood of the Earth.

2. — As the experiments show the discharge has such a shape that charged particles enter the Earth's atmosphere only in a narrow interval of latitude. Calculations which are valid for the model experiment [1], give the right value for the latitude angle of the auroral zones.

3. — If the electric field has the direction predicted by Alfvén's theory, the eccentricity of the auroral zones is such that the largest polar distance occurs in the afternoon, in accordance with observational facts.

Stockholm, K. Tekniska Högskolan. May 1947.

REFERENCE

1. K. G. Malmfors, *Ark. f. math., astr. o. fys.*, **34 B**, nº 1, 1946.

SOLAR-GEOMAGNETIC RELATIONSHIPS (GREENWICH RESULTS)

by

H. W. NEWTON

Solar Flares and Geomagnetic Storms. — In 1926, the late Dr G. E. Hale, after describing his spectrohelioscope, discussed [1] a number of intense chromospheric eruptions (solar flares) and geomagnetic activity that followed, although not invariably, within a day or two. Hale's belief that great magnetic disturbances might be closely related to solar flares receives confirmation from a statistical discussion of all solar flare data up to 1942 in conjunction with Greenwich magnetic records [2]. These recent results also elucidate the much earlier statistical correlations (without knowledge of solar flares) between the larger sunspots and great magnetic storms found by Maunder more than forty years ago and amplified by later Greenwich data and re-discussed [3].

Approximately 7 out of every 10 big sunspots with average area during disk passage of 1,500 millionths and upwards of the sun's hemisphere are associated with one or more geomagnetic storms beginning within the epoch, 2 days before and 4 days after central meridian passage of the spots. About half such storms are « great » storms with minimum ranges at Greenwich of 1° in D or 300 γ in H or in V. Why three failures in ten ? It has hitherto been assumed that the absence of storms in such circumstances was due either to (*a*) the solar corpuscular stream being ejected at an abnormal angle, or (*b*) the position within the central part of the sun's disk not being critical enough for an abnormally narrow solar stream to impinge on the earth.

Although both (*a*) and (*b*) may at times operate, the combined solar flare and radio fade-out data suggest a third and more intrinsic cause (*c*), namely, that no flare of sufficient intensity, with its associated solar stream, occurred during the critical six or seven days when the sunspot was passing through the central half of the solar hemisphere turned earthwards.

To establish (*c*), completely further collaboration and expansion of solar flare observations are needed. Collated data of radio fade-outs (U. V. solar radiation type), especially those of longer duration, give a valuable indication of the more intense solar flares when they occur, but their central or ex-central position on the disk is indeterminate without solar observations.

Brilliant solar flares, sometimes of great extent, are largely, but not exclusively, a feature of the largest sunspots. Intense flares have been observed with spots of smaller area than 500 millionths, and some have been followed after the average interval by a great magnetic storm. Sunspots of area 250-500 millionths are, however, about 35 times more numerous than spots $>$ 1,500 millionths, but their percentage association with magnetic storms (great and small storms combined) is only about 2 in 10. This is approximately the result to be expected from pure chance alone. Solar flare observations serve to identify the smaller sunspots with exceptional chromospheric activity, and thus improve the weak statistical correlation based on size and position alone for these smaller spots and related geomagnetic activity.

However, a large proportion of the smaller magnetic storms cannot in any case be traced to visible antecedent flares. Especially is this so of magnetic disturbances that occur towards and around solar minimum. It is just these disturbances, however, that best show the 27-day recurrence tendency, thus suggesting a more or less continuously ejected stream or cloud of solar particles for weeks or months at a stretch. Such disturbances are generally of long duration — three days or more — and commence indefinitely without the abrupt onset of most great storms and of many of the smaller ones suspected of being related to solar flares.

The Time Interval (T_e) *between Flare and Geomagnetic Storm.* — If it be assumed that at the peak intensity of brilliant flares, the ejection of a solar corpuscular stream begins, then the time interval between flare and the onset of a magnetic storm (more parti-

cularly the « sudden-commencement » if present) will give the effective time of travel (T_e) for the head of the solar stream to reach the earth.

Such an assumption of a time origin is supported by theory and suggested by direct observation of the almost catastrophic nature of the brief but intense flare maximum, as observed in the case of the great flare of 1946 July 25 [4] when a sharp burst of « solar noise » synchronous with the flare maximum was also recorded.

The following values of T_e are given by the data discussed in the Greenwich paper (*loc. cit.*, p. 253) ;

1. All cases of intense flares for which a great or small storm began within $\pm$ 2.0 days of the flare (27 cases including 2 negative values for T_e)

$$21.5 \text{ h} \pm 2.1 \text{ h}.$$

2. 14 great storms alone (excluding one negative value for T_e and two other ambiguous cases)

$$25.7 \text{ h} \pm 1.5 \text{ h}.$$

3. The 5 greatest storms :

$$20.4 \text{ h} \pm 0.9 \text{ h}.$$

A distinct tendency for the most intense geomagnetic storm to have a smaller T_e is indicated. It is also interesting to compare the above values with that of 26 hours derived by Maunder from 19 great storms as the mean time-interval between the onset of the storm and the time of central meridian passage of the biggest sunspot on the disk at the time. The extended Greenwich data, 1874 to 1927 (*loc. cit.* p. 564) gave 0.9 d. or about 22 hours.

It will be noted that a value for T_e of about 24 hours combined with the general statistical limit of about 45° from the disk centre (within which intense flares are followed by magnetic storms) ties up with the earlier statistical limits of two days before (= 27° E. of C. M.) and 4 days after (= 52° W. of C. M.) within which an associated sunspot is situated at the onset of a great storm. There is some evidence, however, that occasionally a great storm may result from an intense flare much nearer the sun's limb.

A second grouping of T_θ values around 50 hours appears significant, chiefly in connection with smaller storms : *see* M. Burgaud S. J. Etudes 41 à 49, observatoire de Zi-Ka-Wei, p. 74, 1947 ; also Allen M. N., **104**, 1944, p. 13.

Sudden Commencements. — A paper, in course of publication in *Geophysical Supplement* of « Monthly Notices » for 1946, gives the characteristics of SC occurrence at Greenwich-Abinger for six 11-year solar cycles, 1879-1944.

Diurnal as well as seasonal effects appear in their frequency and amplitude. The hourly frequency curve (fig. 1) shows a

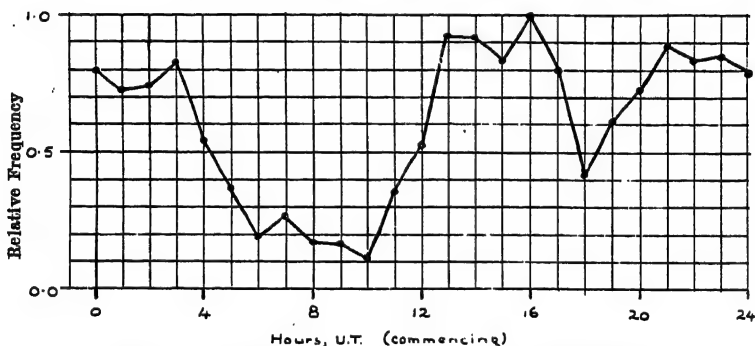



Fig. 1. — Hourly frequency of sudden commencements (Greenwich data: 1879-1944).

deep minimum centred at about 8 h. The main impulse of the normal SC at Greenwich and Abinger is + in H and V and westerly in D (from sampling, the SC at Lerwick is usually negative in V). Rather more than half the SCs have a small preliminary jerk in the opposite direction to the main stroke, and its appearance in either H or D or in both elements together seems related to the time of day. It is an interesting fact that the relatively few SCs that do occur around the 8 h minimum at Greenwich or Abinger are usually inverted, i. e. — ΔH, — ΔV and ΔD easterly. In seasonal distribution, SCs are most frequent from March to September, and least frequent in winter.

These and other features appear quite anomalous in a phenomenon that is known in a number of individual cases to be synchronous over much of the earth. Interchange of magnetic traces,

in addition to published lists of all SC impulses are required to identify those that may be typical at many places but at other stations (according to their local solar time) suppressed sufficiently to escape recognition.

Geomagnetic « Crochets » at Abinger 1936-1946. — Over an equivalent epoch of one 11-year cycle only 23 « crochets » (solar U. V. radiation effect closely synchronous with intense solar flares) could be identified with certainty, but a further 32 smaller impulses are probably crochets. Like short-wave radio fade-outs which provide a useful basis for comparison, crochets do not occur during the night hours. The crochet impulse at Abinger is always negative in H and in V when present (from sample cases at Lerwick the crochet in V is positive). In D, the impulse is east before 10^h7 (average) apparent solar time, and west afterwards. This change of sign, taken in conjunction with less definitive characteristics of the H impulse, confirms Mc Nish's conclusion (1937) that crochets represent an augmentation of the normal diurnal inequality (S_q field). There is a strong suspicion that crochets at Abinger are limited by diurnal and seasonal factors other than a simple dependence upon the sun's zenith distance. Details are given in a paper intended for publication in *Geophysical Supplement* 1947.

Royal Observatory, Greenwich.

REFERENCES

1. G. E. HALE, *Ap. J.*, **73**, 1931, p. 379.
2. H. W. NEWTON, *Monthly Notices*, **103**, 1943, p. 244 ; **104**, 1944, p. 4.
3. GREAVES and NEWTON, *Monthly Notices*, **88**, 1928, p. 556 ; **89**, 1928-29, pp. 84 and 641.
4. See account given by Ellison elsewhere in this Report.

MAGNETIC DISTURBANCES AND SOLAR CORONA

by

A. H. SHAPLEY

The analysis of the Climax green-line coronal observations and geomagnetic character figures for 1942-1945 yielded the interesting relationship that magnetic disturbances were most likely to occur about three days after east limb passage of a region of significantly intense coronal emission.

Forecasts of magnetic disturbances in this period made only by strict application of the 27-day recurrence tendency or only by the coronal relationship achieved about equal success. In practice, coronal information was combined with a knowledge of other solar data, especially on calcium plages and with a knowledge of recurrence phenomena, and forecasts were prepared by the I. R. P. L. with the collaboration of D. T. M. C. I. W. by qualitative consideration of all observations; this work is now being continued at the National Bureau of Standards.

There is, however, still considerable uncertainty in the coronal data and in the use that it is so far possible to make of them, although the data are now extended well beyond those initially used by Waldmeier. It is hoped that further analyses will result in better methods of forecasting through improved knowledge. A study of the effect of latitude distribution on the nature of the correlation is perhaps the most important of these inasmuch as the active solar regions encountered during the test period were predominantly in low latitude, belonging to the waning cycle, whereas regions of the new cycle, in high latitude, have since become more numerous. This study, together with studies using observations of the red coronal line, is currently in progress, but the analyses have not proceeded far enough for a statement of results. These investigations are directed toward

determining criteria from coronal observations to account for times when the relationship differed from the average. For instance, there are cases in the period analyzed when a series of disturbed days began only 1-2 days after the first east-limb appearance of bright coronal regions, and in other cases the disturbances did not start until 5 or more days after the east-limb appearance. In many cases, too, the correlation broke down completely, and no disturbance followed bright east-limb coronal observation. However, only very rarely in the 2-year period covered by the analysis was there any significant geomagnetic activity without there also being a significantly bright coronal region located on the eastern half of the visible solar disk.

It is obvious that forecasts using methods based on the present incomplete coronal data alone are not entirely trustworthy. It is also strongly indicated that we cannot remove all shortcomings of forecasts made according to present methods of coronal analysis simply by obtaining complete and more accurate coronal data, much as these would help. Probably, we can never obtain completely trustworthy forecasts from coronal observations. But, since we have derived a correlation that seems to have a higher significance than those derived from other solar phenomena and since there is some reason to expect that the physical conditions of the solar corona can influence those of the ionosphere, the author believes that investigation of the coronal-magnetic relationship merits further intensive study, including improvement and extension of coronagraphic observations, as well as more detailed statistical analysis.

The physical meaning of the results will next be briefly considered. In the past it has been customary to attribute solar influences on magnetic and ionospheric-disturbance phenomena to either or both of two possible physical mechanisms : we have thought that the sun must produce its action either by generation of unusually intense ultraviolet action at times, or by emission of unusually strong or concentrated neutral streams of charged corpuscles which travel with a velocity less than that of light. The ultraviolet action, it is generally believed, produces the sudden complete radio fadeouts which are confined to the visible hemisphere of the earth. The effect is chiefly increased ionization resulting in absorption in the D-layer, with higher layers relatively unaffected. The corpuscular streams are thought to produce magnetic storms and disturbances in all regions of

the ionosphere, especially the higher layers. These occur on both the bright and the dark terrestrial hemispheres, and especially at high latitudes.

If bright coronal-emission areas are the cause of these magnetic and ionospheric storms, the physical process involved in directing the particle streams to the earth from the east half of the visible disk is rather difficult to visualize. Two forms of evidence have been used to support the belief that the particle streams require approximately 1 day to come from the sun to the earth. First, there appears to be a tendency for a magnetic storm to follow about 24 hours after a sudden radio fadeout. Since the latter is supposed to have been due to radiation propagated with the velocity of light (ultraviolet), perhaps originating in a « chromospheric flare », and since it is reasonable to ascribe a common origin to the two phenomena when they are regularly associated, the 1-day lag between them has been ascribed to the transmission time of the particles in transit between the sun and the earth. Second, great magnetic storms frequently occur 1 day after large sunspot groups have passed the central meridian of the sun. It has been conventional to assume that the particles were emitted radially from the sun when the spot groups were on the central meridian.

The results of our analysis [1] are not necessarily in discord with these conclusions. We are faced with the following two alternatives : [1] The magnetic storms to which the conclusions of the above paragraph refer are the « great » magnetic storms, of which there are few, if any, examples in our test period and for which different physical processes may be postulated from those operating with the lesser magnetic disturbances mainly concerned in our coronal analysis ; or [2] a hitherto undiscovered relationship must exist between the location of a sunspot group and the presence of a region of intense coronal emission following the sunspot group approximately 40° in longitude.

If the first-mentioned alternative is correct, we are not bound, in speculating on the physical meaning of the coronal relationship, to include in an explanation the observed statistical correlation of central-meridian passage of large sunspot groups with the day-later magnetic storms. In support of this alternative, the only great magnetic disturbance in the test period occurred April 1-3, 1944, when the coronal observations were seriously incomplete because of bad conditions of weather at Climax, Colorado.

If the second alternative is correct, we have a more difficult physical situation. The second alternative appeals because it does not require the development of two different explanations for magnetic storms, depending on whether they are greater or less than some certain magnitude. It is, of course, impossible to derive from coronal observations any knowledge of the transmission time from sun to earth of the radiation or corpuscles responsible for magnetic storms, without some assumption as to the direction in which the corpuscles or radiation are emitted and travel or without some other method of determining the time at which they leave the sun. With the coronal correlation we have derived, neither the pratically instantaneous transmission of ultraviolet nor the 1-day transit time ascribed to corpuscles seems to simplify the physical interpretation. If we have reason to believe that a transit time of about 1-day from sun to earth is correct from physical theory or from other observations, then we are faced with the necessity of finding a mechanism by which the disturbing corpuscles are ejected from the east half of the sun's visible disk at an angle of roughly 45° forward with respect to solar rotation. That is, if a 1-day or less transit time is correct, the ejection must be directed toward the earth when the effective coronal region is several days east of the central meridian but not when it is correspondingly west of the central meridian, unless we discover that another geomagnetic influence takes place when coronal regions are at some preferred position in the west half of the solar disk. Such a possibility seems ruled out by our preliminary studies.

Short-term forecasting of geomagnetic and ionospheric conditions has been based on diverse criteria, both solar and geomagnetic, all of them contributing something to the final product. The organized reporting of data on a fast schedule is indispensable to the undertaking. In particular, solar data are required for forecasting beyond the reliability of the 27-days recurrence-tendency, and for maximum effectiveness the data must have few discontinuities with similar observing programs. It is, however, quite evident that solar geomagnetic relationships are still too general to be sole factors in detailed forecasts. The manifestation, if any, of the solar cause of geomagnetic disturbance has not yet been found. Awaiting the discovery of a useful one-to-one solar-geomagnetic relationship, we can increase the utility of solar data in forecasting by placing the known relationships, if

possible, in more definitive form, thus removing some of the subjective judgment that now enters into the preparation of forecasts.

Department of Terrestrial Magnetism,
Carnegie Institution of Washington.

REFERENCES

1. The correlation of magnetic disturbances with intense emission regions of the solar corona, *Astroph. J.*, **103**, 1946, p. 257-274.
2. The application of solar and geomagnetic data to short-term forecasts of ionospheric conditions, *Terr. Mag.*, **51**, 1946, p. 257-266.

THE VARIATION WITH SUNSPOT CYCLE OF THE ANNUAL MEANS OF GEOMAGNETISM

by

E. H. VESTINE

The average geomagnetic field is depressed in horizontal intensity during magnetic storms and disturbances. In general, therefore, years with many strong disturbances have annual means in this component appreciably lowered as compared with years with few disturbances. As a consequence the Earth's field undergoes a systematic variation in strength with sunspot cycle.

A derivation of RV (geomagnetic variation with sunspot cycle) was made by the writer and his colleagues for the period 1905-1942, separately for all available magnetic observatories. These results were used to simplify estimates of magnetic secular change throughout the period 1905-1945, from observatories and repeat stations. In illustration of the magnitude of RV the estimated geomagnetic north component in gammas at the geomagnetic equator was for 1905, — 26 ; 1913, + 34 ; 1919, — 26 ; 1925, + 24, 1930, — 17 ; 1937, + 10 ; and 1943, — 11. The values obtained are only of moderate accuracy, since there are uncertainties in magnetic standards and absolute measurements.

As an indicator of terrestrial effects of solar origin, RV gives an annual mean measure of the storm-time variation and post-perturbation. It thus supplements the usual K-indices, based on three-hour-ranges in disturbed magnetic elements, to which the disturbance daily variation, storm-time variation, and irregular disturbances contribute.

Additional daily indications of the storm-time variation, or of fields of this type, are afforded by tables of the daily mean

departures in field from the monthly means. These have not as yet been studied in relation to solar phenomena. Likewise awaiting study are tables of the amplitude of solar daily variation for the period 1905-1942 which might be usefully employed in the study of the output of ultraviolet radiation from the Sun.

Department of Terrestrial Magnetism,
Carnegie Institution of Washington.

ÉTUDE OPTIQUE DE LA HAUTE ATMOSPHÈRE TERRESTRE

AURORES POLAIRES

L'ABSORPTION DE LA RADIATION SOLAIRE DANS LA HAUTE ATMOSPHÈRE

par

M. NICOLET

Dans ces dernières années, le développement des études sur la haute atmosphère terrestre a conduit à de nombreuses recherches qui concernent les relations entre les phénomènes solaires et terrestres. Ainsi, les phénomènes ionosphériques, dont l'observation à l'échelle mondiale est exigée pour la prévision des radio-communications, ont posé de nombreuses questions qui se rattachent à la composition chimique et à la constitution physique des hautes couches atmosphériques de la Terre. Or, la constitution de l'ionosphère, que l'on essaie de déterminer par l'observation spectroscopique de la lumière du ciel nocturne et des aurores polaires, est liée à l'énergie solaire émise. D'où le problème général, au point de vue de la Géophysique, se ramène à la détermination de l'absorption de l'énergie solaire et des transformations qu'elle provoque aux hautes altitudes. Cependant, ce rapport n'a qu'un objet limité, l'examen de la question qui se rattache à la distribution de l'absorption de la radiation solaire dans la haute atmosphère.

***

On sait que la radiation solaire absorbée dans les hautes couches de l'atmosphère terrestre provient du domaine spectral ultra-violet de longueurs d'onde inférieures à $\sim$ 3.000 Å. En partant de la troposphère, on rencontre d'abord l'absorption remarquable due à la bande de Hartley de l'ozone, tandis que se manifeste l'absorption du continuum et des bandes de Herzberg de

la molécule d'oxygène. Cet ensemble d'absorptions fournit la répartition verticale normale de l'ozone atmosphérique. A l'altitude de 100 km, on se trouve dans le domaine de photo-dissociation de l'oxygène moléculaire sous l'effet de l'absorption au sein du continuum du système de Schumann-Runge. Aux altitudes encore plus élevées il semble que la radiation solaire sert uniquement à la photo-ionisation des éléments constitutifs de l'atmosphère supérieure. A ces phénomènes que l'observation directe ne peut mettre en évidence, il convient d'ajouter l'effet de résonance connu par les observations spectroscopiques du ciel crépusculaire. Il se manifeste, en particulier, dans le cas du sodium, de l'oxygène atomique et de l'azote ionisé.

En bref, nous considérons trois effets d'absorption : absorption et réémission monochromatique, photo-dissociation et photo-ionisation.

I. — Absorption monochromatique crépusculaire

1. *Sodium.* — Depuis l'observation de René Bernard [1] dans le spectre crépusculaire de la luminescence remarquable de la raie jaune λ 5893 Å du sodium, de nombreuses publications ont été consacrées à l'étude de ce phénomène. Citons les travaux expérimentaux de J. Bricard et A. Kastler [2], de L. Vegard et E. Tonsberg [3] et de C. T. Elvey et A. H. Farnsworth [4] qui fournissent les variations de l'intensité crépusculaire en fonction de la distance zénithale du Soleil. Deux théories sont en présence : celle d'une photo-dissociation d'une molécule inconnue, qui donnerait un atome de sodium excité à l'état supérieur de la transition correspondant à la raie D, et celle d'une simple résonance optique excitée par les radiations jaunes du Soleil. Suivant le mécanisme adopté, on est conduit à des altitudes différentes pour la couche émettrice, mais aussi à des conceptions différentes sur l'état physique de la haute atmosphère. Tandis que L. Vegard [3] interprète ses observations par un mécanisme de dissociation photochimique en relation avec l'effet d'ombre de l'ozone atmosphérique déterminé par R. Penndorf [5], les autres observateurs [2] [4] fournissent des données qui s'adaptent à l'hypothèse d'un effet de résonance. Dans le cas de la photo-dissociation, il est difficile de reconnaître la molécule responsable et même de déceler une émission suffisante. On peut, tout au plus, obtenir

l'émission, par seconde et par molécule, d'un seul quantum [6] de longueur d'onde 5.892 Å. Pour la même raison, il ne s'agit pas de s'attacher à une recombinaison radiative [6] de l'atome ionisé de sodium. Il ne peut subsister, pour le moment, que l'effet de résonance comme processus susceptible de donner une valeur suffisante de l'intensité. On obtient [6] [7] une émission d'environ 17 processus d'absorption par atome et par seconde pour un Soleil de température de 6.000° K. En adoptant une réduction de 1 /10 pour le rayonnement émis au sein des raies solaires et en tenant compte de la diffusion moléculaire le long du chemin que suit le Soleil au crépuscule, nous trouvons, dans l'hypothèse d'une couche mince ou d'une répartition verticale normale du sodium neutre, une concentration crépusculaire de l'ordre de 5×10^4 atomes Na à 73 km. En admettant une concentration de 2×10^{15} molécules à cette altitude, on voit qu'il suffit au crépuscule d'une concentration d'atomes neutres du sodium de l'ordre de $2{,}5 \times 10^{-11}$ fois la concentration moléculaire globale.

En résumé, l'exaltation crépusculaire de la radiation du sodium doit résulter d'un effet de résonance et ne présente, au point de vue de l'absorption de la radiation solaire, aucune particularité liée à l'énergie ultraviolette et, de là, à l'activité solaire inobservable.

2. *Oxygène.* — Les observations spectrales du ciel crépusculaire et des aurores exposées au Soleil révèlent l'exaltation des transitions interdites rouges de l'atome neutre d'oxygène, tandis que la raie verte ne présente aucun effet décelable. Les observatins aurorales de C. Störmer [8], également de L. Vegard [3], du ciel crépusculaire et nocturne par C. T. Elvey et A. H. Farnsworth [4] et par J. Dufay et Tcheng Mao-Lin [9] peuvent s'interpréter en première approximation par un effet de résonance.

S. N. Ghosh [10] a indiqué qu'il existe une différence dans l'effet solaire, car il y a résonance dans le cas de λλ 6300-6363 Å et une absorption ultraviolette pour la raie verte. Cette différence apparaît également dans les résultats de D. R. Bates et H. S. W. Massey [7]. En toute exactitude, il faut déterminer l'émission de λ 5577 Å en tenant compte de l'effet d'absorption par l'ozone atmosphérique des radiations λλ 2972-2958 Å et éventuellement de l'absorption à partir de l'état ^1S de la radiation λ 1217,6 Å. De plus, il faut envisager pour la transition rouge la variation en fonction de l'altitude de la désexcitation par chocs.

Si l'on écrit pour l'expression de l'intensité I :

$$I = \Sigma N(^3P) A g_S / g_P \frac{\beta A h\nu}{\Sigma A (e^{h\nu/kT} - 1)},$$

où A est la probabilité de transition, g le poids statistique et β la valeur du coefficient de dilution, on obtient la valeur suivante du rapport :

$$\frac{I\,(6.300 - 6.363)}{I(5.577)} = \frac{N(^3P_2) \times 9{,}8 \times 10^{-10} + N(^3P_1) \times 6{,}4 \times 10^{-10}}{N(^3P_2) \times 2{,}7 \times 10^{-13} + N(^3P_1) \times 5 \times 10^{-11}} \times \frac{15.800}{17.926}.$$

Ce résultat fournit le rapport minimum puisqu'on doit tenir compte de l'effet d'absorption de l'ozone pour l'excitation vers l'état ^1S, de l'absorption éventuelle, à partir de l'état ^1S vers l'état $p^3s\ ^1P$, qui ramène 5/9 des atomes sur l'état ^1D et de la probabilité de désexcitation par chocs des états ^1D et ^1S.

Néanmoins, si l'effet direct explique pourquoi la raie verte ne manifeste au crépuscule aucune variation et que les radiations rouges présentent un renforcement typique, il ne permet pas de rendre compte de tous les phénomènes observés déjà par Cabannes et Garrigue et, plus récemment, par Elvey et Farnsworth. D'ailleurs, on ne peut concevoir dans le cas d'une décroissance exponentielle de la densité qu'à 800 km, la concentration de l'atome d'oxygène soit de l'ordre de 10^{11} à 10^{12} atomes par centimètre cube. En fait, il s'agit de savoir si l'on peut admettre que l'intensité crépusculaire des raies rouges est proportionnelle au nombre d'atomes. En tous cas, on n'a pas affaire à une atmosphère où la température serait de 5.500° K pour expliquer l'échelle de hauteur de 190 km entre les altitudes de 300 et 800 km, échelle qui devrait s'adapter aux observations de Elvey et Farnsworth si l'effet crépusculaire était un effet de résonance pur et simple.

En fin de compte, si l'on compare les cas du sodium et de l'oxygène, on a, par atome et par seconde, le rapport :

$$I(5.890)\,/I(6.300) = 2{,}5 \times 10^9.$$

De là, l'effet sera, du point de vue de l'intensité, identique pour λ 5890 Å et λλ 6300-6363 Å, si le nombre d'atomes d'oxygène est $2,5 \times 10^{9}$ fois le nombre d'atomes de sodium. Or, comme le nombre d'atomes Na requis par l'observation est de l'ordre de $2,5 \times 10^{-11}$ fois la concentration globale, il apparaît à première vue que les ordres de grandeur obtenus sont acceptables. Cependant, il s'agit de s'attacher encore aux observations pour élucider les particularités de cet effet crépusculaire.

3. *Azote moléculaire ionisé.* — Que les bandes négatives de l'azote soient renforcées, dans les plus hautes couches exposées au Soleil [8] [10] ne présente rien d'extraordinaire, car, en vertu des conditions de formation des régions ionisées, c'est dans la région ionosphérique F que l'azote moléculaire doit présenter son maximum d'ionisation. De là, la présence permanente d'un certain nombre de molécules ionisées. Il en résulte, sous l'influence de radiations solaires du domaine visible λλ 3915, 4278, 4715, etc., l'excitation directe à partir de l'état normal ionisé. Ce processus est d'autant plus acceptable que la transition de probabilité de ce système électronique est certainement élevée (force d'oscillation proche de l'unité). Sous cette forme, l'explication ne requiert pas l'excitation par des radiations ultraviolettes de longueurs d'onde inférieures à 660 Å, radiations solaires qui pourraient difficilement atteindre, lorsque la distance zénithale est supérieure à 90°, les hautes couches ionosphériques. La multiplication des observations est encore nécessaire pour déterminer le comportement exact de cet effet crépusculaire.

En résumé, il apparaît que les données d'observation sur l'exaltation crépusculaire des radiations de la haute atmosphère s'interprètent le mieux par un effet du rayonnement solaire situé dans le domaine spectral astronomique observable.

II. — Photo-dissociation

1. *Ozone.* — Nous n'insisterons pas ici sur la photo-dissociation de l'ozone atmosphérique et nous renvoyons aux articles récents de S. Chapman [11], F. W. P. Götz [12], M. Nicolet [13], H. V. Dütsch [14] et G. M. W. Dobson [15] où on peut trouver les références aux travaux parus pendant la période 1939-1946.

2. *Oxygène.* — Au delà de la bande de Hartley et jusqu'à 1.300 Å, nous avons affaire à l'absorption de l'oxygène moléculaire, lequel est dissocié. La comparaison des théories de R. C. Majumdar [16] et de O. R. Wulf et L. S. Deming [17] indique qu'à 100 km, l'oxygène atomique devient un élément important. Cependant, la théorie pourrait être reprise sans se fixer une répartition de la concentration moléculaire en fonction de l'altitude. Ainsi, en développant la méthode utilisée par M. Nicolet [18], il serait possible de déterminer, sans hypothèse préalable, le rapport d'équilibre des *concentrations* des atomes et des molécules en présence de la radiation solaire.

La répartition spectrale du rayonnement solaire dans la région λλ 1750-1300 Å doit être analogue à celle de la région observable et il est permis d'adapter les lois habituelles. De là, l'équilibre [18], oxygène atomique et moléculaire, s'écrit sous la forme :

$$N(O_2) \cdot D = R \cdot N^2(O),$$

où D est le coefficient de dissociation et R le coefficient de recombinaison double ou triple. La variation de l'absorption en fonction de la longueur d'onde est connue et il est possible d'employer la méthode de Chapman [19]. En prenant *une* valeur moyenne du coefficient d'absorption et en adoptant des valeurs approximatives des coefficients de M. Nicolet, on a le tableau préliminaire suivant :

$N(O)$	$N(O_2)$	$N(O)$	$N(O_2)$	$N(O)$	$N(O_2)$
10^8	2,5	10^{12}	$2,2 \times 10^8$	$5,7 \times 10^{12}$	$7,5 \times 10^{10}$
10^9	$2,5 \times 10^2$	2×10^{12}	$1,8 \times 10^9$	10^{12}	$1,25 \times 10^{11}$
10^{10}	$2,5 \times 10^4$	3×10^{12}	$5,9 \times 10^9$	$3,3 \times 10^{11}$	$1,25 \times 10^{12}$
10^{11}	$2,5 \times 10^6$	$3,8 \times 10^{12}$	$1,4 \times 10^{10}$	10^6	5×10^{12}

On voit, par ce résultat approximatif, que le maximum de concentration de l'oxygène atomique serait de l'ordre de 5×10^{12} alors qu'à cette altitude, la concentration de l'oxygène moléculaire serait de l'ordre de $7,5 \times 10^{10}$ molécules par centimètre cube. C'est pourquoi, il n'est pas possible, ainsi qu'il a été suggéré [20], que l'oxygène moléculaire explique le renforcement

crépusculaire des raies rouges de OI. En fait, l'effet de résonance de OI (λ 6300) est d'environ 10^5 fois supérieur à celui de la photo-dissociation.

Dès que la dissociation de l'oxygène moléculaire est réalisée sous l'effet de l'absorption de la radiation solaire, la composition de l'atmosphère diffère radicalement de celle de l'air au niveau du sol. Pour cette raison, il convient d'être très prudent dans l'application aux hautes couches des coefficients d'absorption ultraviolets de l'air. On possède les données récentes de E. Schneider [21] et J. J. Hopfield [22] qui fournissent des valeurs sur une grande étendue spectrale. Sous cette forme, ces listes de coefficients d'absorption de l'air présentent un intérêt, car elles permettent de déterminer, ainsi que A. et E. Vassy [23] l'ont fait, la pénétration générale du rayonnement dans l'atmosphère. Cependant, lorsqu'il est nécessaire d'obtenir une grande précision pour une longueur d'onde particulière telle que λ 1215 Å, la raie L_α de l'hydrogène, on s'aperçoit que l'imprécision est très grande. Les valeurs de E. Schneider [21], de W. M. Preston [24] et de S. E. Williams [25] diffèrent à tel point que les conclusions que l'on peut en tirer amènent à des résultats différents [23, 23 *a*, 24]. Dans le cas de l'évanouissement brusque des ondes courtes on considère que L_α des éruptions solaires peut avoir ou non un effet suivant les valeurs adoptées. A notre avis, la raie L_α est située dans une des régions les moins absorbées du domaine λλ 1000-1300 Å et la radiation solaire, à cette longueur d'onde, doit pouvoir pénétrer au-dessous de 100 km.

3. *Autres molécules.* — Sauf pour les molécules polyatomiques telles que H_2O, CO_2, NO_2, N_2O, etc., la photo-dissociation ne semble pas devoir intervenir avec une grande importance dans l'atmosphère supérieure. Pour expliquer l'origine des atomes d'azote, on peut penser à la prédissociation de N_2 ou à la photo-dissociation à partir d'états excités [26] [27]. Cependant, il existe, à notre avis, une objection fondamentale à la photo-dissociation de N_2. On observe, en effet, dans les aurores les plus élevées la présence des bandes de l'azote moléculaire ionisé. Or, si le phénomène de photo-dissociation était responsable de la dissociation de N_2, il n'existerait pratiquement pas de molécules N_2 ou N_2^+ dans les hautes couches atmosphériques avec des atomes d'azote au début de l'atmosphère supérieure. Il faut se rendre compte que l'équilibre de photo-dissociation fournit le minimum

de molécules à l'altitude la plus élevée. C'est pourquoi, l'absorption de l'ultraviolet ne doit pas pouvoir dissocier N_2 et il faut donc rechercher l'origine des atomes d'azote dans des processus tels que ceux que M. Nicolet [18] a déterminés. On arrive d'ailleurs ainsi à la constatation assez heureuse que NO doit être présent, dans le domaine atmosphérique de dissociation de O_2, pour absorber le rayonnement dans la bande λλ 1300-1000 Å alors que N se forme dans la région atmosphérique où NO ne peut plus subsister.

3. — Photo-ionisation

C'est dans le domaine de la photo-ionisation que l'étude de l'absorption solaire a été la plus développée depuis 1939. Ceci s'explique d'ailleurs par l'intérêt qu'ont soulevé les recherches ionosphériques au cours de ces dernières années.

Sous l'impulsion des travaux de S. Chapman, on a supposé, dès le début des recherches que les éléments constitutifs (oxygène et azote) de la haute atmosphère, soumis à la radiation solaire de très courtes longueurs d'onde, étaient photo-ionisés. Grâce aux résultats ionosphériques obtenus lors des éclipses, on a pu montrer que l'origine des régions E et F_1 était due à la photo-ionisation. Quant à la région F_2, par suite de ses propriétés particulières, l'unanimité est loin d'être réalisée. Cependant, il faudra bien admettre qu'elle se forme sous l'influence de l'absorption de radiations ultraviolettes lorsqu'on aura dégagé complètement l'effet du champ magnétique terrestre sur la distribution de l'ionisation.

En tout cas, la première théorie générale qui fut proposée, est celle des physiciens hindous. Après avoir admis l'existence de l'équilibre de diffusion des éléments atmosphériques, S. K. Mitra et H. Rakshit [28] trouvent une prépondérance des atomes d'oxygène au delà de 200 km. En partant de ces résultats, J. N. Bhar [29] détermine l'équilibre d'ionisation de O_2, N_2 et O, où la recombinaison est attribuée uniquement à la recombinaison radiative sur l'état normal. De plus, en faisant des hypothèses particulières sur les absorptions propres à chaque élément, il admet finalement que l'oxygène moléculaire forme la région E sous l'influence de l'absorption de la radiation solaire dans la bande spectrale λλ 744-661 Å, l'azote moléculaire la région F_1

dans la bande λλ 611-585 Å et l'oxygène atomique la région F_2 dans la bande λλ 910-744 Å. De plus, S. K. Mitra, J. N. Bhar et S. P. Ghosh [30] appliquant la même méthode, considèrent qu'un maximum d'ionisation se présente à 55 km sous l'influence de l'absorption de O_2 de la radiation solaire dans la bande λλ 1012-910 Å et un autre maximum vers 140 km résultant de l'absorption de N_2 à λ 795 Å.

Cette conception de la répartition verticale de l'absorption de la radiation solaire présente pour son acceptation, dans le cadre des interprétations physiques de l'ionosphère, des difficultés que divers auteurs (cf. R. Jouaust) [31] ont soulignées. En fait, on ne peut faire *a priori* l'objection que l'ultraviolet solaire d'un corps noir à 6.000° K ne soit pas suffisant pour produire la photoionisation désirée, mais on ne peut admettre les équations d'équilibre d'ionisation employées, lesquelles ne tiennent pas compte des divers mécanismes de recombinaison des électrons. La théorie de Chapman de la distribution verticale de l'absorption est donnée pour un constituant. Cependant, il est évident que, lors de son application à l'atmosphère, il faut calculer simultanément l'absorption des divers éléments et la théorie de Chapman fournit donc la possibilité d'une détermination correcte de l'absorption dans l'ionosphère. D'ailleurs, par cette méthode, on constate immédiatement que la région E ne peut être formée par la photoionisation de O_2 sous l'influence des radiations de la bande λλ 744-661 Å.

Une autre suggestion développée par O. R. Wulf et L. S. Deming [17] indique que les régions F_1 et F_2 seraient dues à l'absorption de la radiation solaire par la molécule d'azote dans deux bandes spectrales correspondant aux deux potentiels d'ionisation de cette molécule. D'autre part, la région E serait attribuée à l'ionisation de l'oxygène moléculaire dans une bande non précisée mais probablement dans le voisinage de λ 1000 Å.

Parmi les autres travaux, tels que ceux de E. O. Hulburt [32], F. A. Lindemann [33], F. L. Mohler [34] et D. H. Menzel [35], l'origine des régions F_1 et F_2 est diversement attribuée à l'oxygène atomique et à l'azote moléculaire, c'est-à-dire à une absorption de la radiation solaire de longueurs d'onde inférieures à 910 Å.

On constate ainsi qu'il existe un grand nombre de solutions au problème de l'origine des régions ionosphériques. *A priori*, il y a, en tenant compte de l'existence des atomes et des molécules

d'oxygène et d'azote et des divers potentiels d'ionisation, au moins six solutions possibles, lesquelles ont été suggérées.

Le problème de l'origine et de la formation des régions ionosphériques est en fait le problème de la distribution verticale de l'absorption de la radiation solaire. Sinon, on arrive aux conclusions auxquelles R. Jouaust [36] et J. Gauzit [37] sont arrivés, qu'il est impossible d'expliquer toutes les couches ionosphériques par la voie de la photo-ionisation directe. Dans ces conditions, on est tenté de rechercher, comme Jouaust et Gauzit et plus récemment encore R. v. d. R. Woolley [38] des mécanismes qui provoquent l'ionisation, soit par des réactions indirectes, soit par absorption de la radiation solaire de plus grandes longueurs d'onde à partir d'états métastables. Sous l'une ou l'autre forme, les processus d'ionisation n'exigeraient pas des hypothèses assez arbitraires sur le rayonnement ultraviolet sortant du Soleil. Ainsi, R. v. d. R. Woolley, pour admettre une émission solaire du type d'un corps noir à 6.000° K, doit considérer que l'ionisation de la région F_2 résulte de l'absorption par l'oxygène atomique des radiations les plus courtes mais avec un faible coefficient de recombinaison, et celle de la région E de l'absorption de l'oxygène moléculaire à λ 990 Å. Quant à la région F_1, il serait nécessaire de l'attribuer à l'absorption de l'énergie solaire à partir d'états métastables de N_2 ou par la molécule NO dans une bande de longueurs d'onde supérieures à celles qui forment la région E.

Ces diverses conceptions sur la formation des régions ionosphériques ne permettent pas, lorsqu'il s'agit de déterminer les relations entre les phénomènes solaires et la haute atmosphère, d'arriver à une solution. Ou bien, on est obligé d'accepter sans preuve un excès d'ultraviolet solaire de 10^3 et même 10^6 par rapport à celui d'un corps noir à 6.000° K ou bien, on doit imaginer des mécanismes dont l'action est négligeable pendant le jour. C'est pourquoi une détermination telle que celle de K. O. Kiepenheuer [39] ne peut être acceptée. Il trouve, en effet, que les intensités estimées surpassent celle d'un Soleil rayonnant comme un corps noir à 5.780° K (loi de Stéfan) pour la couche E (λλ 744-661 Å) et pour la couche F_1 ($\lambda < 661$ Å) de 10^5 fois et pour la couche F_2 (λλ 910-744 Å) de 10^3 fois. Or, il n'est pas possible par exemple, que la région E soit due à l'absorption par O_2 de la radiation solaire dans la bande spectrale λλ 744-661 Å. Dans ces conditions, il en résulte des erreurs inévitables dans l'estimation des valeurs de l'énergie ultraviolette du Soleil.

Comment doit-on poser le problème de l'absorption solaire provoquant la photo-ionisation ?

En l'absence de données quantitatives sur les valeurs de l'énergie solaire atteignant le sommet de l'atmosphère terrestre, il faut connaître le coefficient d'absorption des constituants atmosphériques dont la distribution verticale soit à peu près déterminée et rechercher, en fin de compte, l'origine des régions ionisées pour lesquelles l'observation a fixé les propriétés principales.

Dans le tableau suivant, nous avons réuni les valeurs *approximatives* des coefficients d'absorption employées par D. R. Bates et H. S. W. Massey [40] et par M. Nicolet [41] dont les conceptions au sujet des réactions fondamentales dans la haute atmosphère, bien que différant sur certains points, s'accordent sur les faits essentiels.

On constate immédiatement que l'ionisation de l'oxygène atomique (O), de l'azote atomique (N) et moléculaire (N_2) et de l'hélium (He) résulte de l'absorption du rayonnement de $\lambda < 910$ Å correspondant au potentiel d'ionisation de l'hydrogène. Suivant M. Nicolet [42], on doit considérer que la photo-ionisation de ces éléments ne peut résulter de l'absorption du rayonnement émis par la photosphère, mais du rayonnement émis par des hautes couches solaires et en particulier par la chromosphère à une hauteur de l'ordre de 7.000 km.

L'oxygène moléculaire (O_2) et les composés NO et NO^+ absorberont le rayonnement de longueurs d'onde supérieures à 910 Å, c'est-à-dire le rayonnement phostophérique continu qui provient globalement du disque et des facules. Comme on peut admettre assez facilement que les éléments O. N, N_2, He, H, sont présents dans toute l'atmosphère supérieure et que les molécules O_2 et NO ne dépassent pas le domaine de la région E, il est possible de fixer des règles à l'absorption de la radiation solaire.

L'absorption provoquée par O et N, et c'est ici le fait fondamental que H. S. W. Massey et D. R. Bates [43] et M. Nicolet [41] ont mis indépendamment en évidence, est totale à une altitude supérieure à la région E. Il en résulte que la radiation de la longueur d'onde inférieure à 910 Å, qui provient des hautes couches solaires, ne peut ioniser la molécule O_2 à basse altitude dans l'atmosphère terrestre. La bande λλ 744-661 Å est absorbée à l'altitude de la région F et les molécules O_2 (concentration de l'ordre de 10^6) ne peuvent provoquer un maximum d'absorption indépendant. Aussi, M. Nicolet [41] a-t-il attiré l'attention sur ce point

essentiel qui, s'il est vérifié, facilitera les recherches sur les relations entre l'activité solaire et l'ionosphère. Aux deux domaines de l'émission solaire ($\lambda < 910$ Å, chromosphère, plages faculaires... et $\lambda > 910$ Å, photosphère, facules...) sont associées deux régions distinctes d'absorption dans l'atmosphère supérieure.

TABLEAU DES COEFFICIENTS D'ABSORPTION

ÉLÉMENT	ÉTAT FINAL	ÉNERGIE			COEFFICIENT D'ABSORPTION
		λ en Å	cm⁻¹	eV	
O_2					
He (2^1S)	$He^+(1^2S)$	3120	32033	3,94	$\varkappa(\nu) = 5{,}58 \times 10^{12}\,\nu^{-2}$
NO_2	$NO + O(^3P)$	} 4050 } 3700	27020	3,34	
He (2^3S)	$He^+(1^2S)$	2600	38455	4,73	$\varkappa(\nu) = 8{,}4 \times 10^{12}\,\nu^{-2}$
NO_2	$NO + O(^1D)$	2450	40800	5,04	
O_3	$O(^3P) + O(^3P)$	2420	41310	5,09	$\bar{\varkappa} = 10^{-23}$ à 10^{-24}
Na	$Na^+(^1S)$	2412	41450	5,12	$\varkappa(\nu_0) = 1{,}60 \times 10^{-19}$
N_2O	$NO + N(^2D)$	2140±	46000±	5,7	$\bar{\varkappa} = 10^{-20}$ à 10^{-21}
O_2	$O(^3P) + O(^3P)$	1950			prédissociation ?
H_2O	$OH(A^2\Pi) + H$	1785	55930	6,9	$\varkappa \rightarrow 10^{17}$
		→1550			
O_2	$O(^3P) + O(^1P)$	1750	56150	7,05	$\varkappa_{max.} = 1{,}8 \times 10^{-17}$ à $\lambda = 1.450$ Å
		→1300			
H_2O	$OH(B^2\Sigma) + H$	1340	74575	9,2	
		1240			
NO^+	$N + O^+$	1310±	75950	9,37±	?
NO	NO^+	1300±	77000	9,5±	$\bar{\varkappa} \leqslant 10^{-18}$
O_2	$O_2^+(^2\Pi)$	1020	98890	12,2	$\bar{\varkappa} = 10^{-21}$ à 10^{-20}
O_2	O_2^+ (préionisation)	1000-950	100000	12,35	$\varkappa = 5 \times 10^{-17}$
H_2O	H_2O^+	980	101810	12,56	
N_2O	N_2O^+	975	102620	12,66	$\varkappa < 10^{-19}$
H	H^+	912	109678	13,53	$\varkappa(\nu) = 6{,}66 \cdot 10^{-18} (\nu_0/\nu)^3$
O	$O^+(^4S)$	910	109837	13,55	$\varkappa = 4{,}5 \times 10^{-18}$
				→16,87	
N	$N^+(^3P)$	850	117345	14,48	$\varkappa(\nu) = 7{,}76 \times 10^{-2}\,\nu^{-1}$
N_2	$N_2^+(A^2\Sigma)$	795	125670	15,5	$\bar{\varkappa} = 10^{-17}$ à 10^{-18}
O_2	$O_2^+(A^4\Pi)$	765	130500	16,1 }	$\varkappa = 5 \cdot 10^{-17}$ à 10^{-16}
O_2	$O_2^+(A^2\Pi)$	730	136790	16,9 }	
O	$O^+(^2D)$	730	136750	16,87	$\varkappa = 1{,}1 \times 10^{-17}$
				→18,56	
O_2	$O_2^+(^4\Sigma)$	680	147500	18,2	$\varkappa = 10^{-16}$ à $5 \cdot 10^{-17}$
O	$O^+(^2P)$	665	150450	18,56	$\varkappa = 1{,}6 \times 10^{-17}$
				→25,00	
N_2	$N_2^+(B^2\Sigma)$	660	151340	18,67	$\varkappa = 10^{-16}$ à $5 \cdot 10^{-17}$
He	$He^+(B^2S)$	504	198300	24,48	$\varkappa(\nu) = 2{,}8 \times 10^{14}\,\nu^{-4}$
N^+	$N^{++}(^2P)$	420	237950	29,49	
O^+	$O^{++}(^3P)$	355	282300	35,00	$\varkappa \sim 10^{-17}$
He^+	He^{++}	230	438500	54,18	

On montre aisément (théorie de Chapman) que, dans une atmosphère à échelle de hauteur constante h, le maximum d'absorption pour un élément quelconque s'exprime par la relation (hauteur du Soleil = 90°) :

$$N_M \varkappa h = 1,$$

où N_M est la concentration de l'élément à l'altitude z_M du maximum d'absorption et $\varkappa$ est *une* valeur moyenne du coefficient d'absorption.

S'il existe un gradient (linéaire) de l'échelle de hauteur, l'expression précédente devient :

$$N_M \varkappa H_M = 1 + \beta$$

où H_M est l'échelle de hauteur à l'altitude du maximum d'absorption et où β est le gradient dH/dz.

Sous l'une ou l'autre forme, on peut l'appliquer (cf. M. Nicolet) [41] à un ensemble de constituants d'espèce j. On écrit alors :

$$\Sigma N_j \varkappa_j h = 1.$$

On voit immédiatement que, par suite de l'absorption de l'oxygène et de l'azote atomiques dans la bande proche de λ 910 Å, tous les constituants auront le maximum d'absorption fixés par l'oxygène et l'azote atomiques. Si, pour d'autres raisons, l'azote moléculaire intervient, il sera soumis, au moins vers le bas, à l'effet d'absorption de l'oxygène atomique.

Dans la région F, la concentration de l'atome d'oxygène sera comprise entre 10^{11} et 10^{10} suivant les valeurs choisies pour les coefficients d'absorption (1) et pour les échelles de hauteur.

Pour la région E, puisque aucune radiation de $\lambda < 910$ Å ne peut atteindre son altitude, il faut utiliser la molécule d'oxygène qui sera photo-ionisée par la radiation du continuum $\lambda < 1019$ Å dont le coefficient d'absorption est compris entre 10^{-21} et

(1) M. Nicolet (*loc. cit.*) avait employé la valeur fournie par D. R. Bates et coll. (*Proc. Roy. Soc., London*, **170**, 1939, p. 322). Il faut maintenant utiliser les valeurs corrigées de Bates et Massey, *Philos. Trans. Roy. Soc. London*, **239**, 1943, p. 269.

10^{-20} cm² ou par des bandes de pré-ionisation $1000 < \lambda < 910$ Å dont le coefficient d'absorption est de l'ordre de 5×10^{-17} cm². Dans le premier cas, l'application de la formule :

$$N_M \varkappa h = N_M \times 5 \times 10^{-21} \times 10^6$$

indique donc que le maximum d'absorption se présente pour une concentration de l'ordre de 2×10^{14} molécules. Dans le second cas, la concentration n'est plus que de 2×10^{10} molécules.

Dans la conception actuelle de la formation de la région E où le coefficient effectif de recombinaison est considéré comme *constant*, il faut admettre que :

1° L'absorption maxima par l'oxygène moléculaire dans son premier état d'ionisation a lieu au sein de la région D (10^{15} à 10^{14} molécules) ;

2° L'absorption maxima par l'oxygène moléculaire dans les bandes de pré-ionisation a lieu à l'altitude de la région E ($\sim 2 \times 10^{10}$ molécules) ;

3° Le maximum d'absorption donnant lieu à la photo-ionisation dans la région E est situé à une altitude supérieure au maximum de photo-dissociation de O_2. De là, l'échelle de hauteur ionosphérique de la région E, $h = 10$ km, correspond à celle de l'oxygène moléculaire ;

4° La formation de la région E dans le domaine atmosphérique situé sous le maximum de concentration de O ne pourrait avoir lieu que si le coefficient d'absorption pour la photo-ionisation était légèrement inférieur au coefficient d'absorption donnant lieu à la photo-dissociation par la bande λλ 1750-1300 Å.

Dans le cas de la bande spectrale λλ 1300-1000 Å où apparait la raie L_α ($\lambda = 1215{,}7$ Å), elle ne semble être soumise à une absorption suffisante que par NO. Dès lors, il n'est pas impossible que l'on ait affaire à une couche D double dont une partie soit sensible, lors de l'évanouissement brusque des ondes courtes, par suite de la photo-ionisation de NO [44] et l'autre partie soit fonction de l'absorption de O_2 dans son premier continuum d'ionisation. Ajoutons encore que, si l'on tente de dégager l'effet de l'ionisation du sodium atmosphérique, on se heurte aux résultats d'observation qui indiquent l'existence d'une symétrie matinale et vespérale de l'effet crépusculaire. Dans ces conditions, il apparaît que le nombre d'ions Na^+ produit le jour, ne peut dépasser le nombre d'atomes neutres observé au crépuscule.

A l'heure actuelle, il semble donc que l'on puisse schématiser

l'ensemble des phénomènes d'absorption de la radiation solaire dans la haute atmosphère sous la forme approximative suivante :

ÉLÉMENT	ABSORPTION	PHOTO-	ALTITUDE
O_3	$3000 — \lambda — 2100$	dissociation	ozonosphère
O_2	$\lambda < 2400$	—	
Na	$\lambda < 2410$	ionisation	80 km (région D)
O_2	$\lambda\lambda$ 1750-1350	dissociation	au-dessous et au sein de la région E
NO	$\lambda < 1300$	ionisation	au-dessous de la région E (région D)
O_2	$\lambda < 1020$	ionisation	région D
O_2	$\lambda\lambda$ 1000-910	pré-ionisation	région E (100 km)
O	$\lambda < 910$	ionisation	région F_1 (200 km)
N	$\lambda < 850$	—	régions F_1-F_2
N_2	$\lambda < 795$	—	
O_2	$\lambda < 765$	—	
N_2	$\lambda < 661$	—	
He	$\lambda < 504$	—	
N^+	$\lambda < 420$	—	régions F_1-F_2
O^+	$\lambda < 355$	—	
He^+	$\lambda < 230$	—	

En terminant, il est intéressant de comparer les valeurs de l'énergie radiative émise par le Soleil suivant les diverses conceptions et les valeurs exigées par les données ionosphériques. Dans le tableau (p. 140), nous avons réuni les résultats tirés des travaux de Bates-Massey [40], de Kiepenheuer [39] et de M. Nicolet [41] [42]. Les intensités du rayonnement solaire sont réduites pour donner le nombre de quanta par seconde par centimètre carré au sommet de l'atmosphère terrestre. Les nombres de la dernière colonne montrent que les résultats obtenus sont très différents. Ainsi les valeurs énormes obtenues par Kiepenheuer, et qui ne sont pas d'ailleurs acceptables, s'opposent aux autres données. De celles-ci, on trouve pour la région E que le nombre de quanta solaires est supérieur à celui exigé par l'ionosphère. Ce résultat peut s'expliquer dans le cas d'un phénomène de pré-ionisation où toute l'absorption n'intervient pas dans le phénomène d'ionisation.

Dans le cas de la région F_1, le fait d'avoir introduit le rayonnement chromosphérique conduit à un rapport des nombres de quanta fournis par le Soleil et exigés par l'ionosphère, voisin de l'unité. Cette constatation s'applique encore à la région F_2 où l'on voit que le rayonnement du corps noir à 6.000° K est insuffisant mais que le rayonnement chromosphérique fournit le nombre de quanta nécessaire.

Région avec bande spectrale	Température du Soleil		Chromosphère	Rayonnement demandé par l'ionosphère	Ionosphère / Soleil
	6.000° K	5.740° K			
Région E :					
λ < 1020 .... (Bates-Massey)	10^{10}			6×10^{8}	6×10^{-2}
λ < 744......... (Kiepenheuer)		$2{,}7 \times 10^{5}$		$4{,}2 \times 10^{10}$	$1{,}6 \times 10^{5}$
λλ 1000-990 ...... (Nicolet)	7×10^{9}	$1{,}8 \times 10^{9}$			10^{-1}
Région F_1 :					
λ < 910 .... (Bates-Massey)	$9{,}3 \times 10^{8}$			2×10^{9}	2,2
λ < 661......... (Kiepenheuer)		$9{,}0 \times 10^{3}$		$2{,}1 \times 10^{9}$	$2{,}3 \times 10^{5}$
λ < 910 .... (Nicolet)			$1{,}8 \times 10^{9}$	2×10^{9}	1
Région F_2 :					
λ < 795 .... (Bates-Massey)	$2{,}7 \times 10^{7}$			$1{,}5 \times 10^{9}$	55,5
λ < 910 .... (Kiepenheuer)		$5{,}5 \times 10^{7}$		$4{,}2 \times 10^{10}$	$7{,}7 \times 10^{3}$
λ < 910 .... (Nicolet)			$1{,}8 \times 10^{9}$	$1{,}5 \times 10^{9}$	1
λ < 850 .... (Nicolet)			$7{,}9 \times 10^{8}$		1,9

Il y aurait encore lieu d'examiner le cas des absorptions des ions négatifs de l'ionosphère [45] et du rayonnement de la couronne solaire [46] [47]. Jusqu'à présent, ces problèmes ne sont pas encore posés avec une précision suffisante pour les discuter dans ce rapport.

Institut royal météorologique de Belgique, Uccle.

Mars 1947.

BIBLIOGRAPHIE

1. R. Bernard, Observation d'un nouveau phénomène de fluorescence dans la haute atmosphère. Présence et variation de la radiation 5893 Å dans la lumière du ciel au crépuscule, *C. R., Paris*, **206**, 1938, p. 448-450.
2. A. Kastler, Sur les propriétés de la lumière de résonance de la vapeur de sodium et leur application à l'étude de la raie jaune atmosphérique, *Procès-verbaux de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 31 mars 1938, p. 64.

   A. Kastler, Sur l'absorption par la vapeur du sodium de la raie jaune crépusculaire, *C. R., Paris*, **210**, 1940, p. 530.

   J. Bricard et A. Kastler, Sur l'absorption par la vapeur de sodium de la raie jaune du Ciel nocturne, *C. R., Paris*, **216**, 1940, p. 878.

   J. Bricard et A. Kastler, Recherches sur la radiation D du sodium dans la lumière du ciel crépusculaire et nocturne, *Annales de Géophysique*, **1**, 1944, p. 53.
3. L. Vegard, The atmospheric layer from which the yellow line twilight originates, *Nature, London*, **145**, 1940, p. 623.

   L. Vegard et E. Tönsberg, Investigations on the auroral and twilight luminescence including temperature measurements in the ionosphere, *Geofysiske Publik.*, **13**, nº 1, 1940, p. 13.

   L. Vegard et G. Kvifte, Spectral investigations of aurorae and twilight, *Geofysiske Publik.*, **16**, nº 7, 1945, p. 17.
4. C. T. Elvey et A. H. Farnsworth, Spectrophotometric observations of the light of the night sky, *Astrophys. Jour.*, **96**, 1942, p. 451.
5. R. Penndorf, Die Ozonverteilung zwischen 40 und 50 km Höhe und die Lage der Ozonschattengrenze bei Sonnenuntergang, *Meteor. Zeits.*, **60**, 1943, p. 401.
6. M. Nicolet, Le mécanisme d'excitation des radiations du sodium atmosphérique en relation avec l'altitude de la couche émettrice, *Bulletin Académie royale de Belgique, Classe des Sciences*, **29**, 1943, p. 367.
7. D. R. Bates et H. S. W. Massey, The basic reactions in the upper atmosphere, *Proc. Roy. Soc., London*, **187**, 1946, p. 293.
8. C. Störmer, Blue auroral rays situated in the sunlit part of the atmosphere, *Terr. Magn.*, **44**, 1939, p. 7.
9. J. Dufay et Tcheng Mao-Lin, Recherches spectrophotométriques sur la lumière du ciel nocturne dans la région visible, *Annales de Géophys.*, **2**, 1946, p. 189.

10*a*. S. N. Ghosh, Excitation processes of the night sky spectrum, *Proc. Nat. Inst. of Sc. of India*, **9**, 1943, p. 301 ; Excitation processes of the auroral spectrum, *ibidem*, **12**, 1946, p. 405.

10*b*. C. T. Elvey, The light of the Night Sky, *Rev. of Mod. Phys.*, **14**, 1942, p. 140.

11. S. Chapman, The photochemistry of atmospheric oxygen, *Reports on Progress in Physics*, **9**, 1943, p. 92.
12. F. W. P. Götz, Der Stand des Ozonproblems, *Vierteljahr. der Naturforschenden Ges. Zürich*, **89**, 1944, p. 250.
13. M. Nicolet, L'ozone et ses relations avec la situation atmosphérique, *Institut Royal Météorologique de Belgique, Miscellanées*, fasc. XIX, 1945.

14. H. U. Dütsch, Photochemische Theorie des atmosphärischen Ozons unter Berücksichtigung von Nichtgleichgewichtszuständen und Luftbewegungen, *Dissertation, Zürich*, 1946.
15. G. M. W. Dobson with A. W. Brewer and B. M. Chilang, Meteorology of the lower stratosphere, *Proc. Roy. Soc., London*, **185**, 1946, p. 144.
16. R. C. Majumbar, The theory of molecular dissociation and the fundamental mechanisms in upper atmosphere, *Indian Journ. of Phys.*, **12**, 1938, p. 15.
17. O. R. Wulf and L. S. Deming, On the production of the ionospheric regions E and F and the lower-altitude ionisation causing radio fade-outs, *Terr. Magn.*, **43**, 1938, p. 283.
18. M. Nicolet, Constitution et composition de l'atmosphère, *Institut Roya Météorologique de Belgique, Mémoires*, **19**, 1945, p. 63.
19. S. Chapman, The atmospheric height distribution of band-absorbed solar radiation, *Proc. Phys. Soc., London*, **51**, 1939, p. 93.
20. M. Nicolet, Le problème atomique dans l'atmosphère supérieure, *Institut Royal Météorologique de Belgique, Mémoires*, **11**, 1939.
21. E. Schneider, An estimate of the absorption of air in the extreme ultraviolet, *Jour. Opt. Soc. Amer.*, **30**, 1940, p. 128.
22. J. J. Hopfield, Ultraviolet absorption spectrum of air in the region $\lambda\lambda$ 600-2000, *Astrophys. Jour.*, **104**, 1946, p. 208.
23. A et E. Vassy, Sur le mécanisme de l'ionisation de la région D de l'ionosphère, *Cahiers de Physique*, **9**, 1942, p. 28.
23*a*. R. Penndorf, Die Entstehung der stratosphärischen D-Schichtdurch Absorption der Wasserstofflinie 1215 Å, *Die Naturwissenchaften*, **29**, 1914, p. 195.
24. W. M. Preston, Origin of Radio Fade-outs and the absorption coefficient of gases for light of wave-length 1215,7 Å, *Phys. Rev.*, **57**, 1940, p. 887 ; Absorption of the hydrogen line 1215,7 Å by Air, *Nature, London*, **145**, 1940, p. 623.
25. S. E. Williams, Absorption of hydrogen Lyman radiation by atmospheric gases, *Nature*, **145**, 1940, p. 68.
26. J. Gauzit, Constitution de l'Atmosphère supérieure : dissociation des molécules d'oxygène et d'azote, *Cahiers de Physique*, **9**, 1942, p 47.
27. Ta-You Wu, On the existence of atomic nitrogen in the upper atmosphere of the Earth, *Phys. Rev.*, **66**, 1944, p. 65.
28. S. K. Mitra et H. Rakshit, Distribution of the constituent gases and their pressures in the upper atmosphere, *Indian Jour. Phys.*, **12**, 1938, p. 47.
29. J. N. Bhar, Stratification of the ionosphere and the origin of the E layer, *Indian Jour. Phys.*, **12**, 1938, p. 363.
30. S. K. Mitra, J. N. Bhar et S. P. Ghosh, The lower ionosphere, *Indian Jour. Phys.*, **12**, 1938, p. 455.
31. R. Jouaust, *L'ionosphère*, Chap. VII, Paris, 1946, Éditions *Revue d'Optique*.
32. E. O. Hulburt, Photoelectric ionisation in the ionosphere, *Phys. Rev.*, **53**, 1938, p. 344 ; The E region of the Ionosphere, *Phys. Rev.*, **55**, 1939, p. 639.
33. F. A. Lindeman, Observations of the discussion of the constitution of the upper atmosphere, *Quart. Jour. R. Meteo, Soc.*, **45**, 1939, p. 330.
34. F. L. Mohler, Recombination and electron attachment in the F layers of the ionosphere, *Jour. Research Nat. Bur. of Standards*, **25**, 1940, p. 507.
35. D. H. Menzel, Theory of ionospheric stratification, *Résumé au Congrès U. R. S. I., Paris*, septembre 1946.
36. R. Jouaust, Les origines de la couche E de l'ionosphère, *C. R. Paris*, **214**, 1942, p. 441.

37. J. Gauzit, Les recombinaisons moléculaires dans la haute atmosphère et l'origine de la couche ionosphérique E, *Cahiers de Physique*, **18**, 1944, p. 34.
38. R. v. d. R. Woolley, The mechanism of ionospheric ionisation, *Proc. Roy. Soc. London*, **187**, 1946, p. 403.
39. K. O. Kiepenheuer, Sur l'intensité absolue et les lois du rayonnement ultraviolet qui produit l'ionosphère (Rayonnement solaire 600-900 Å), *Annales d'Astrophysique*, **8**, 1945, p. 210.
40. D. R. Bates et H. S. W. Massey, The basic reactions in the upper atmosphere, *Proc. Roy. Soc., London*, **187**, 1946, p. 261.
41. M. Nicolet, L'interprétation physique de l'ionosphère, *Institut Royal Météorologique de Belgique, Mémoires*, XIX, 1945, p. 106.
42. M. Nicolet, Le rayonnement solaire, *Institut Royal Météorologique de Belgique, Mémoires*, XIX, 1945, p. 38.
43. H. S. W. Massey et D. R. Bates, The properties of neutral and ionised atomic oxygen and their influence on the upper atmosphere, *Reports on Progress in Physics*, **9**, 1943, p. 62.
44. M. Nicolet, L'ionosphère, *Scientia*, **40**, 1946, p. 11.
45. D. R. Bates et H. S. W. Massey, The negative ions of atomic and molecular oxygen, *Phil. Trans. Roy. Soc., London*, **239**, 1943, p. 269.
D. R. Bates, The continuous radiative absorption cross-section de O^-, *Monthly Notices Roy. Astr. Soc.*, **106**, 1946, p. 128.
46. L. Vegard, Coronal phenomena and their relations to solar and terrestrial processes, *Scientia*, **38**, 1944, p. 54.
47. C. W. Allen, Variation of the Sun's ultraviolet radiation as revealed by ionospheric and geomagnetic observations, *Terr. Magn.*, **51**, 1946, p. 1.

RECHERCHES SUR LES PHÉNOMÈNES OPTIQUES DE LA HAUTE ATMOSPHÈRE EFFECTUÉES DEPUIS 1940 A L'OBSERVATOIRE DE LYON ET A L'OBSERVATOIRE DE HAUTE-PROVENCE

par

Jean Dufay

Depuis 1940, un groupe de chercheurs a poursuivi, tant à l'Observatoire de Lyon qu'à l'Observatoire de Haute-Provence, des travaux relatifs à la lumière du ciel nocturne, aux aurores de basse latitude, à la lumière zodiacale et aux phénomènes crépusculaires. L'objet de ce rapport est de résumer l'essentiel de ces recherches, dont la diffusion a été retardée par la difficulté des relations internationales, et d'y ajouter quelques résultats nouveaux.

I. — Brillance et Couleur du Ciel nocturne

Les mesures photoélectriques de R. Grandmontagne, relatives à la brillance et à la couleur du ciel nocturne, publiées déjà partiellement sous forme de courtes notes, ont été réunies en 1941 en un mémoire d'ensemble [1]. Leur auteur a décrit en outre [1] [2] [3] [4] un nouveau modèle de photomètre plus perfectionné que le premier. Par suite de nombreuses difficultés matérielles, cet appareil n'a pu être mis en service qu'en août 1946. Depuis, des enregistrements sont effectués régulièrement à l'Observatoire de Haute-Provence.

En 1943, R. Jaujou a fait de son côté des mesures visuelles de la brillance du ciel, en utilisant 3 filtres colorés, avec un *photomètre binoculaire* analogue à celui de Garrigue. Arrêté par les Allemands, Jaujou est mort en déportation. Ses mesures seront publiées prochainement.

2. — Polarisation

En collaboration avec Tcheng Mao-Lin, j'ai mesuré, à l'Observatoire de Haute-Provence, la proportion de lumière polarisée dans la lumière du ciel nocturne et la lumière zodiacale, au moyen d'un nouveau photopolarimètre comprenant des polaroïds au lieu du prisme biréfringent utilisé antérieurement. Les résultats de nos mesures, confirmant dans l'ensemble ceux des recherches précédentes, sont encore inédits.

3. — Composition spectrale de la lumière du ciel nocturne

a) *Région infrarouge.* — A Lyon, L. Herman, Mme R. Herman et J. Gauzit ont découvert par photographie en février 1942 deux radiations infrarouges intenses à 0,97 et 1,04 μ [5]. Ils ont rapproché la première de la bande 0,94 μ de la vapeur d'eau ; la seconde pouvait être attribuée soit à la bande (0,0) du 1er système positif de la molécule N_2, soit au doublet interdit ^2P — ^2D de l'atome d'azote. On sait que cette dernière radiation a été retrouvée indépendamment aux États-Unis par J. Stebbins, A. E. Whitford et P. Swings, à l'aide d'une cellule photoélectrique munie de filtres appropriés. Son intensité pourrait atteindre 100 fois celle de la raie verte de l'oxygène. On s'accorde aujourd'hui à l'identifier à la bande (0,0) du 1er système positif. L'émission pourrait avoir lieu par recombinaison des atomes d'azote, car l'énergie de recombinaison est égale à l'énergie d'excitation de la bande [6] [7].

b) *Régions bleue, violette et ultraviolette.* — D'excellents clichés ont été obtenus à l'Observatoire de Haute-Provence par D. Barbier, dont le très important travail fait l'objet d'une note distincte.

J'ai proposé en 1941 d'attribuer au système des bandes de Herzberg de la molécule O_2 quelques-unes des plus fortes radiations ultraviolettes du ciel nocturne, jusque-là rebelles à toute identification [8] [9] [10]. Cette interprétation a été confirmée et étendue par P. Swings et par D. Barbier. D'autre part, nous avons cherché G. Déjardin et moi, après avoir dressé une « liste-type » des radiations ultraviolettes du ciel d'après l'ensemble des observations connues, à réviser les identifications proposées jusque-là [11] [12] [13]. Ce travail a permis d'écarter de nombreuses attributions insuffisamment justifiées. En dehors des

bandes de Vegard-Kaplan de N_2 (faibles dans l'ultraviolet) et des bandes de Herzberg de O_2 (prépondérantes), nous avons retenu comme encore vraisemblable la présence de quelques bandes de Lyman de l'azote et de quelques bandes de Schumann-Runge de l'oxygène, sans écarter toutefois la présence possible d'un nouveau système de bandes inconnu au laboratoire. D'après les recherches récentes de Barbier, cette dernière hypothèse doit prévaloir.

Une nouvelle étude des nombreux clichés obtenus précédemment au Pic du Midi, à Montpellier, à Lyon et à Forcalquier a conduit d'autre part à réviser la liste des radiations émises entre 3.800 et 5.100 Å (J. Cabannes et J. Dufay) [14] [15] et à préciser l'identification des bandes de Vegard-Kaplan, prépondérantes au-dessus de 4.000 Å [16]. La largeur des bandes observées permet d'estimer grossièrement à 230° K la température des couches luminescentes, en bon accord avec la valeur trouvée par L. Vegard, d'après la structure des bandes négatives de N_2^+ dans les aurores polaires. La répartition des intensités parmi les bandes de Vegard-Kaplan obéit bien à la règle de Franck-Condon et les plus fortes bandes ont pour niveau initial $v' = 2$, 3 et 4.

c) *Région visible.* — Le tracé de la parabole théorique permet de prévoir l'extension du système de Vegard-Kaplan dans le spectre visible pour des niveaux de vibration supérieurs $v' = 4$, 5, 6, et 7. Nous avons pu interpréter ainsi de façon satisfaisante une dizaine de radiations du spectre du ciel nocturne et surtout du spectre des aurores (mieux connu dans cette région) jusque vers 6.500 Å [17].

Par ailleurs nous avons publié avec J. Gauzit une mise au point relative à l'analyse interférentielle des raies brillantes de l'oxygène et du sodium dans les spectres du ciel nocturne et crépusculaire [18].

4. — Intensité des raies brillantes de l'oxygène et du sodium

Des mesures spectrophotométriques ont été entreprises à Lyon en 1940 et poursuivies en Haute-Provence de 1941 au début de 1944, en vue d'étudier les variations d'intensité des raies brillantes 5577, 5892 et 6300 Å (J. Dufay et Tcheng Mao-Lin). Près de 600 spectrogrammes ont été obtenus au cours de 190 nuits [19 à 25].

a) *Variation diurne.* — *En moyenne* l'intensité de la raie 5577 Å passe par un maximum un peu après minuit, comme on l'a déjà plusieurs fois constaté. Les raies 6300 et 5892 Å ne montrent pas de variation diurne proprement dite, mais seulement des effets post et pré-crépusculaires très marqués pour la première raie. L'intensité de celle-ci, observée à l'ouest ($\zeta = 70^o$) décroît encore pendant 3 heures après la fin du crépuscule astronomique (d'accord avec les observations de Cabannes et Garrigue). Vers l'est elle recommence à croître bien avant l'aube. Le doublet du sodium montre un effet semblable, mais atténué. Vers l'ouest ($\zeta = 70^o$) son intensité diminue encore pendant 1 heure et demie environ après la fin du crépuscule.

b) *Variation annuelle.* — En considérant les *moyennes mensuelles* on retrouve, pour la raie 5577 Å, les deux maxima de février t d'octobre signalés par Lord Rayleigh et Spencer Jones. Mais les raies 6300 et 5892 Å ne montrent qu'un maximum net en hiver et un profond minimum vers le solstice d'été. En moyenne le doublet du sodium est 5 fois plus intense en novembre qu'en juin-juillet, mais la comparaison des mesures individuelles montre qu'il peut être 40 fois plus intense.

c) *Relation avec l'activité solaire et l'agitation magnétique.* — Aucune corrélation n'a été trouvée entre l'intensité des raies et l'activité solaire ou l'agitation magnétique pendant les 3 jours précédents. Les moyennes mensuelles font toutefois apparaître une corrélation assez notable *dans le cas de la raie verte exclusivement* (coefficient de corrélation R de l'ordre de + 0,4 à + 0,5). La diminution d'intensité de la raie 5577 Å en 1943 peut ainsi être rapprochée de la décroissance de l'activité solaire (remarque déjà faite par Lord Rayleigh et Spencer Jones au cours d'un cycle solaire précédent). On note aussi la ressemblance entre les courbes de variation annuelle de la raie verte et de l'agitation magnétique.

d) *Corrélations entre les intensités des 3 raies.* — La raie 5577 Å se comporte ainsi d'une autre manière que les raies 6300 et 5892 Å du point de vue des variations diurne et annuelle et des relations avec les phénomènes solaires. De plus les raies 6300 et 5892 Å montrent souvent des fluctuations irrégulières fort semblables. Aussi existe-t-il entre les intensités de ces deux raies

une forte corrélation ($R = + 0{,}83$), tandis qu'entre les intensités des deux raies de l'oxygène la corrélation n'est pas plus forte qu'entre celles des raies 5577 et 5892 Å ($R = + 0{,}36$).

e) *Intensités énergétiques.* — En tenant compte de la sensibilité spectrale des plaques on peut évaluer grossièrement l'*ordre de grandeur* des intensités énergétiques relatives. Il semble qu'*en moyenne* presque tous les atomes ayant émis la raie verte (^1D — ^1S) émettent ensuite les raies rouges (^3P — ^1D), mais, d'un jour à l'autre, le rapport des intensités des raies 5577 Å et 6300 Å varie *énormément.* Dans certains cas, beaucoup d'atomes ^1D doivent perdre leur énergie par choc en retombant au niveau ^3P sans émettre les raies rouges. D'autres fois au contraire un grand nombre d'atomes sont portés au niveau ^1D (1,96 eV), sans pouvoir atteindre le niveau ^1S (4,18 eV).

f) *Altitude des couches luminescentes.* — La mesure simultanée de l'intensité d'une raie près de l'horizon et près du zénith doit en principe permettre d'évaluer l'altitude de la couche luminescente, *si celle-ci est uniforme*, autrement dit si l'intensité de la raie est la même au zénith de stations distantes de plusieurs centaines de kilomètres. Des expériences préliminaires nous ont montré que cette condition n'était pas remplie ; la couche luminescente n'est pas uniforme et se comporte plutôt comme un ensemble de nuages lumineux, de brillance variable au cours de la nuit. Des mesures isolées peuvent ainsi conduire à une altitude tout à fait illusoire. En prenant la moyenne d'un grand nombre d'observations on peut toutefois conserver l'espoir d'atteindre une altitude raisonnable, en comptant sur l'allure fortuite des variations de brillance. Nous avons considéré 101 mesures relatives aux distances zénithales 70° et 20° et 25 mesures relatives aux distances zénithales 80° et 10°. En tenant compte de la lumière diffusée dans l'atmosphère, suivant la méthode de Barbier, nous concluons *provisoirement* que les raies 5577 et 5892 Å paraissent émises à des altitudes peu différentes l'une de l'autre, de l'ordre de 80 à 100 km. La raie 6300 Å serait émise à une altitude supérieure, de l'ordre de 180 km.

Des mesures analogues faites *sur le spectre en apparence continu* (avec un spectrographe possédant un faible pouvoir de résolution) conduisent à penser que, conformément aux idées de Barbier, une partie importante de ce spectre (peut-être un tiers)

serait émise dans l'atmosphère terrestre, à une altitude compa-rable à celle des raies. Il s'agirait, d'après Barbier, des ailes des bandes d'émission atmosphériques.

5. — Nuits claires et aurores polaires

Au cours de ces recherches nous avons eu l'occasion de photo-graphier le spectre d'une *nuit claire* et de deux aurores polaires.

La nuit claire du 2 décembre 1940 (qui semble avoir été suivie de deux nuits analogues 27 et 54 jours plus tard) était caracté-risée par le renforcement de la raie 6300 Å et surtout l'*intensité exceptionnelle du spectre en apparence continu* [26].

Pendant les aurores du 1er mars 1941 (étudiées en collaboration avec Gauzit) [27] et des 18-19 septembre 1941 [28] [29] [30], la raie 6300 Å était extraordinairement intense, la raie 5577 Å n'était que peu renforcée, la raie 5892 Å ne l'était pas du tout. Les bandes négatives de l'azote étaient bien développées et on a identifié quelques bandes de Vegard-Kaplan. Mais le fait le plus remarquable était la présence d'une raie voisine de 5200 Å, qui était forte le 18 septembre. La mesure de sa longueur d'onde (5199 ± 1 Å) nous a permis de l'attribuer au doublet interdit $^4S - ^2D$ de l'atome neutre d'azote, dont la présence, suggérée par Sommer et Slipher, était généralement contestée. Elle semble caractéristique des aurores de basse latitude, qui intéressent des couches atmosphériques très élevées, au même titre que la grande intensité de la raie 6300 Å et le développement des séquences des bandes négatives de l'azote [31] [32].

La durée de vie énorme de l'état métastable ^2D exige, pour que le doublet $^4S - ^2D$ apparaisse, une accumulation prodigieuse d'atomes sur le niveau ^2D. Un très grand nombre des molécules d'azote de la haute atmosphère se trouvaient donc alors disso-ciées en atomes.

6. — Phénomènes crépusculaires

Grandmontagne a étudié avec l'un de ses photomètres photo-électriques la décroissance de la brillance du ciel au zénith pen-dant le crépuscule [1] [2] pour le proche infrarouge. En portant en abscisses la dépression U du Soleil au-dessous de l'horizon, en ordonnées le logarithme de la brillance, il obtient 4 droites qui se

raccordent par des points anguleux. Les 3 discontinuités correspondraient aux dépressions solaires U = 8°20′, 10°30′ et 13°20′ en moyenne.

Si l'on cherche à représenter d'une manière analogue les mesures de la brillance spectrale que j'ai faites avec Gauzit [33] pour diverses radiations de l'intervalle 4900-6500 Å, on obtient des droites parallèles à celle de Grandmontagne pour U < 8°30′. On constate au delà une diminution de la pente, mais les mesures n'ont pas été suffisamment prolongées pour permettre d'affirmer l'existence de la première discontinuité.

Nos clichés, obtenus en 1938, renseignent sur l'absorption sélective de l'atmosphère [34] et permettent de suivre les variations d'intensité des raies 5892, 6300 et 6364 Å exaltées au crépuscule. Pour le doublet du sodium, la comparaison des mesures faites au zénith et près de l'horizon (méthode de Vegard) indique une altitude tout à fait comparable à celle trouvée avec Tcheng Mao-Lin pendant la nuit. Enfin nous avons constaté d'une manière très fréquente sinon permanente à cette époque un renforcement assez fugitif mais fort net de la raie 5577 Å au crépuscule, qui n'a pas été signalé jusqu'ici.

Plus récemment j'ai entrepris, en collaboration avec Maurice Dufay, la recherche systématique des bandes négatives de l'azote ionisé dans le spectre du ciel crépusculaire. On sait que la présence habituelle de ces bandes, annoncée par Slipher a été confirmée par Elvey aux États-Unis et leur présence au moins occasionnelle par Vegard et Tönsberg en Norvège. Cependant c'est en vain qu'elles avaient été recherchées en Allemagne (Cario) et en France (Gauzit). Nos observations montrent que les bandes négatives sont très souvent présentes en France pendant le crépuscule. Parfois elles sont invisibles, mais parfois elles apparaissent avec une grande intensité et disparaissent quand la nuit est complète. Ce phénomène semble accompagner les perturbations magnétiques ; il est possible qu'il s'apparente aux aurores polaires éclairées par le Soleil, étudiées par Störmer.

7. — Recherches de laboratoire

Mme R. Herman et L. Herman ont fait, à l'Observatoire de Lyon, d'importantes recherches de laboratoire en relation avec la luminescence de la haute atmosphère [35 à 63]. Comme il est impossible de les analyser ici en détail, je me bornerai à citer

quelques-uns des résultats qui touchent de plus près aux questions traitées dans les paragraphes précédents.

a) *Excitation des raies interdites de l'oxygène.* — J. Millon et L. Herman ont excité la raie 5577 et la raie 6300 Å dans l'oxygène pur, sous une pression de quelques millimètres de mercure [35]. Les spectrogrammes montraient en même temps les raies permises de OI dans l'ultraviolet des bandes de Schumann-Runge (dont plusieurs nouvelles) et un spectre continu s'étendant sur toute la région visible et ultraviolette étudiée.

Dans un mélange d'argon et d'oxygène, L. et R. Herman ont excité les raies interdites avec une grande intensité [36] [37] [38]. Dans certaines conditions expérimentales, la raie verte est pratiquement la seule présente, sans les raies rouges et sans les raies de l'argon. On observe en même temps un spectre continu intense, dû probablement à des molécules instables AO. La raie dite « transaurorale » $^3P_1 - {}^1S_0$ a aussi été excitée avec une forte intensité. La mesure exacte de sa longueur d'onde (2972, 25 $\pm$ 0,01 Å) permet de déterminer plus exactement la position relative des niveaux ^3P et ^1D.

b) *Étude du système de Vegard-Kaplan de l'azote.* — Dans un mélange d'azote et de xénon les bandes de Vegard-Kaplan ont été observées pour la première fois avec certitude jusque dans la région violette [39 à 43]. Les longueurs d'onde mesurées s'accordent parfaitement avec celles trouvées dans le spectre du ciel nocturne et vérifient la formule de Janin.

c) *Autres systèmes de l'azote.* — On doit encore à Mme R. Herman une extension du système de Lyman, l'étude des bandes de Goldstein-Kaplan et de Van der Ziel, l'étude des bandes du premier système positif dans divers types de phosphorescence de l'azote, la découverte de plusieurs nouveaux systèmes de bandes, etc...

8. — Travaux théoriques

En relation avec ses mesures de la brillance du ciel crépusculaire, Grandmontagne a calculé la masse d'air traversée par un rayon lumineux et évalué la brillance due à la diffusion primaire avant et pendant le crépuscule [64].

D'autre part J. Gauzit s'est efforcé d'interpréter théoriquement quelques résultats des observations récentes [65 à 74].

Selon lui, l'excitation des raies interdites dans le spectre du ciel nocturne ou crépusculaire et dans le spectre des aurores, exige que la haute atmosphère soit presque exclusivement formée d'atomes, les molécules n'existant qu'à l'état de traces. Il faudrait donc admettre la dissociation de l'azote comme celle de l'oxygène et Gauzit a discuté les conditions de cette dissociation [65] [66].

En collaboration avec Grandmontagne il a cherché aussi à expliquer les discontinuités crépusculaires [67] [68]. La première vers 57 km d'altitude, correspondrait à un maximum de température, la deuxième, vers 95 km, à la rapide dissociation des molécules en atomes et la troisième, vers 160 km, à un maximum de la température.

Gauzit a proposé également une hypothèse sur l'origine de la couche ionosphérique E [69] [70] [71]. La recombinaison par choc double de 2 atomes d'oxygène ^1S conduirait à la formation d'une molécule ionisée avec expulsion d'un électron. Ce mécanisme pourrait jouer un rôle important dans le maintien d'une ionisation relativement élevée pendant la nuit.

Étudiant le problème de la température de la haute atmosphère, il est parvenu à la conclusion que la dissociation photochimique de l'oxygène devait donner naissance à des atomes animés de très grandes vitesses. La notion de température perdrait ainsi son sens habituel pendant le jour, mais on pourrait définir une température équivalente extrêmement élevée [73] [74].

BIBLIOGRAPHIE

1. R. Grandmontagne, Études photoélectriques sur la lumière du ciel nocturne, *Annales de Physique*, série II, **15**, 1941, p. 255-306 ; *Thèse*, Paris, 1941.

2. R. Grandmontagne, Étude photoélectrique du ciel nocturne et du crépuscule, *Cahiers de Physique*, nº 3, 1941, p. 39 ; *Public. Observ. Lyon*, **3**, nº 6.

3. R. Grandmontagne, Nouveau photomètre enregistreur pour l'étude du rayonnement du ciel nocturne et du ciel crépusculaire, *Cahiers de Physique*, nº 8, 1942, p. 73.

4. R. Grandmontagne, Photomètre enregistreur automatique à cellule photoélectrique pour l'étude du ciel nocturne et du crépuscule, *Revue d'Optique*, **19**, 1940, p. 78.

5. R. Herman, L. Herman, J. Gauzit, Spectre du ciel nocturne dans le proche infrarouge, *Cahiers de Physique*, nº 13, 1943, p. 72 ; *Public. Observ. Lyon*, **3**, nº 12.

6. R. Herman, L. Herman, J. Gauzit, Infrared Spectrum of the Night Sky, *Nature*, London, numéro du 28 juillet 1945.
7. R. Herman, L. Herman, J. Gauzit, A propos d'une radiation infrarouge très intense dans la lumière du ciel nocturne, *Journal de Physique*, série VIII, **6**, 1945, p. 182.
8. J. Dufay, Une interprétation possible de certaines radiations intenses du ciel nocturne dans l'ultraviolet, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **213**, 1941, p. 28.
9. J. Dufay, Nouveaux aspects du problème du ciel nocturne. Le spectre d'émission de la haute atmosphère, *Annales de l'Université de Lyon*. 3e série, Sciences physiques et chimiques 1942-1943, p. 1-40; *Public. Observ. Lyon*, **3**, nº 16.
10. J. Dufay, Les bandes de Herzberg de la molécule d'oxygène dans le spectre du ciel nocturne, *Annales de Géophysique*, **3**, 1947, p. 1.
11. G. Déjardin, J. Dufay, Le rayonnement ultraviolet du ciel nocturne, I. Description du spectre d'émission, *Cahiers de Physique*, nº 12, 1942, p. 35 ; *Public. Observ. Lyon*, **3**, nº 11.
12. G. Déjardin, J. Dufay, The Light of the Night Sky in the Ultraviolet Range, *Bull. American Physical Society*, **21**, 196, p. 16.
13. J. Dufay, G. Déjardin, Le rayonnement ultraviolet du ciel nocturne. 2e Partie : Origine probable du spectre d'émission, *Annales de Géophysique*, **2**, 1946, p. 249.
14. J. Cabannes, J. Dufay, Nouvelles mesures de longueurs d'onde dans les régions bleue et violette du spectre émis par le ciel nocturne, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **217**, 1943, p. 433.
15. J. Cabannes, J. Dufay, Le spectre du ciel nocturne dans les régions bleue et violette. 1re Partie : Description du spectre d'émission entre 3800 et 5000 Å. *Annales de Géophysique*, **1**, 1944, p. 1.
16. J. Cabannes, J. Dufay, Le spectre du ciel nocturne dans les régions bleue et violette. 2e Partie : Identification des bandes de Vegard-Kaplan dans le spectre de luminescence de la haute atmosphère, *Annales de Géophysique*, **2**, 1946, p. 290.
17. J. Cabannes, J. Dufay, Les bandes de Vegard-Kaplan de l'azote dans la région visible du spectre des aurores et du spectre du ciel nocturne, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **223**, 1946, p. 113.
18. J. Dufay, J. Cabannes, J. Gauzit, L'analyse interférentielle des raies brillantes du ciel nocturne, *L'Astronomie*, **56**, 1942, p. 159.
19. J. Dufay, Tcheng Mao-Lin, Variations d'intensité des raies brillantes de l'oxygène et du sodium dans le spectre du ciel nocturne, *Société franç. Physique*, Section du Sud-Est, réunion du 4 juillet 1945.
20. J. Dufay, Tcheng Mao-Lin, Sur les variations d'intensité des raies 5577, 5892 et 6300 Å dans le spectre du ciel nocturne, *Comptes rendus Acad. Sc.* **218**, 1944, p. 802.
21. J. Dufay, Tcheng Mao-Lin, Études spectrophotométriques sur la lumière du ciel nocturne, *Communication au Congrès de l'A. F. A. S.*, Paris, 26 octobre 1945.
22. J. Dufay, Tcheng Mao-Lin, Mesures spectrophotométriques sur la lumière du ciel nocturne dans la région visible, *Notes préliminaires du Laboratoire national de Radioélectricité*, note nº 80, janvier 1946.
23. J. Dufay, Tcheng Mao-Lin, Recherches spectrophotométriques sur la lumière du ciel nocturne dans la région visible, 1re Partie, *Annales de Géophysique*, **2**, 1946, p. 189-230.

24. J. Dufay, Tcheng Mao-Lin, Sur l'altitude des couches luminescentes de la haute atmosphère, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **221**, 1945, p. 380.
25. J. Dufay, Recherches sur la lumière du ciel nocturne à l'Observatoire, de Haute-Provence, *The Observatory*, février 1946 ; *L'Astronomie*, **60**, 1946, p. 121.
26. J. Dufay, Tcheng Mao-Lin, Le spectre d'une nuit claire, *Cahiers de Physique*, n° 14, 1943, p. 63.
27. J. Dufay, J. Gauzit, Tcheng Mao-Lin, Spectre de l'aurore du 1er mars 1941, *Cahiers de Physique*, n° 1, 1941, p. 59 ; *Public. Observ. Lyon*, **3**, n° 3.
28. J. Dufay, Tcheng Mao-Lin, L'aurore du 18 septembre 1941 et son spectre, *Bull. Soc. astron popul. Toulouse*, **32**, 1941, p. 252.
29. J. Dufay, Tcheng Mao-Lin, Le doublet interdit $^4S—^2D$ de l'atome neutre d'azote dans le spectre de certaines aurores visibles à de basses latitudes, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **215**, 1941, p. 692.
30. J. Dufay, Tcheng Mao-Lin, Spectre de l'aurore du 18 septembre 1941, *Cahiers de Physique*, n° 8, 1942, p. 51 ; *Public. Observ. Lyon*, **3**, n° 8.
31. J. Dufay, Les spectres des aurores de basse latitude et la composition de la haute atmosphère, *Cahiers de Physique*, n° 6, 1941, p. 71.
32. J. Dufay, Les raies interdites de l'atome d'azote dans le spectre des aurores et du ciel nocturne, *Annales d'Astrophysique*, **6**, 1943, p. 81.
33. J. Dufay, J. Gauzit, Mesures spectrophotométriques de la brillance du ciel au crépuscule, *Annales d'Astrophysique*, **9**, 1946, p. 135.
34. J. Dufay, J. Plassard, Les bandes telluriques dans le spectre du ciel crépusculaire et dans le spectre du soleil couchant, *Cahiers de Physique*, n° 1, 1941, p. 76.
35. J. Millon, L. Herman, Remarques sur le spectre d'émission de l'oxygène pur, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **218**, 1944, p. 152.
36. L. Herman, R. Herman, Raies interdites de l'atome neutre d'oxygène, *Annales de Géophysique*, **1**, 1944, p. 165.
37. L. Herman, R. Herman, Sur les raies interdites de l'atome neutre d'oxygène, *Cahiers de Physique*, n° 21, 1944, p. 72.
38. R. Herman, L. Herman, Raie transaurorale de l'atome neutre d'oxygène, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **216**, 1944, p. 398.
39. R. Herman, Contribution au spectre de la molécule neutre d'azote, *Thèse*, Paris, 1944.
40. R. Herman, Mécanisme d'excitation du système des bandes de Vegard-Kaplan de la molécule d'azote, *Cahiers de Physique*, n° 16, 1943, p. 75 ; n° 18, 1943, p. 44.
41. R. Herman, L. Herman, Spectre de l'azote dans une atmosphère de xénon, *Journal de Physique*, série VIII, **7**, 1946, p. 203.
42. R. Herman, Extension du système de bandes $A(^3\Sigma)—X(^1\Sigma)$ de la molécule d'azote, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **222**, 1946, p. 1226.
43. R. Herman, Extension of the A—X system of nitrogen, *Nature*, London, 22 juin 1946.
44. R. Herman, Niveaux électroniques et réactions chimiques. Azote, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **211**, 1940, p. 773.
45. R. Herman, Remarques sur les spectres de phosphorescence et leur interprétation, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **212**, 1941, p. 120.
46. R. Herman, L. Herman, Extension du système de bandes de Lyman-Birge-Hopfield de la molécule d'azote, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **215**, 1942, p. 133 ; *Annales d'Astrophysique*, **5**, 1942, p. 71.

47. L. Herman, Présence du système de bandes de Lyman de la molécule d'azote dans le rayonnement ultraviolet du ciel nocturne, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **215**, 1942, p. 527.

48. R. Herman, Contribution au spectre ultraviolet de la molécule d'azote, *Journal de Physique*, série VIII, **5**, 1944, p. 245.

49. R. Herman, L. Herman, Remarques sur les bandes de Goldstein-Kaplan de l'azote, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **214**, 1942, p. 220 ; *Cahiers de Physique*, n° 9, 1942, p. 23 ; *Public. Observ. Lyon*, **3**, n° 9.

50. R. Herman, Sur une phosphorescence verte de l'azote actif, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **215**, 1942, p. 506.

51. R. Herman, L. Herman, Distribution d'intensité des bandes dans les spectres des aurores polaires et température de la haute atmosphère, *Cahiers de Physique*, n° 16, 1943, p. 15 ; *Public. Observ. Lyon*, **3**, n° 13.

52. R. Herman, Spectre auroral de la molécule d'azote, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **216**, 1943, p. 492.

53. R. Herman, Détermination de la température par la distribution d'intensité dans un système, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **220**, 1945, p. 878.

54. R. Herman, Identification d'un nouveau système de bandes de la molécule d'azote, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **217**, 1943, p. 141.

55. R. Herman, Nouveau système de bandes de la molécule d'azote, *Journal de Physique*, Série VIII, **5**, 1944, p. 195.

56. A. G. Gaydon, R. Herman, Band spectrum of nitrogen, *Proceedings Physical Society London*, 1946.

57. R. Herman, A. G. Gaydon, Systèmes de bandes de la molécule d'azote, *Journal de Physique*, Série VIII, **7**, 1946, p. 121.

58. R. Herman, Spectre de recombinaison de la molécule d'azote, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **220**, 1945, p. 593.

59. R. Herman, L. Herman, Spectre continu de recombinaison de la molécule d'oxygène, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **222**, 1946, p. 1094.

60. R. Herman, L. Herman, Nouveaux spectres de molécules instables observés dans un mélange de xénon et d'oxygène, *Société française de Physique*, Section du Sud-Est, réunion du 23 mai 1946.

61. R. Herman, Phosphorescence de l'azote en présence d'argon, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **222**, 1946, p. 121.

62. R. Herman, Spectre d'émission de l'oxygène dans une atmosphère de xénon, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **222**, 1946, p. 492.

63. R. Herman, L. Herman, Remarque sur les bandes de Cameron et leur présence possible dans le rayonnement du ciel nocturne, *Annales d'Astrophysique*, **10**, 1947, p. 42.

64. R. Grandmontagne, Sur une évaluation approchée de la masse d'air traversée par un rayon lumineux. Application à la diffusion primaire par l'atmosphère, avant et pendant le crépuscule, *Cahiers de Physique*, n° 2, 1941, p. 70 ; *Public. Observ. Lyon*, **3**, n° 5.

65. J. Gauzit, La présence des raies interdites dans les spectres du ciel nocturne et de l'aurore et la constitution de l'atmosphère supérieure, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **213**, 1941, p. 695.

66. J. Gauzit, Constitution de l'atmosphère supérieure : dissociation des molécules d'oxygène et d'azote, *Cahiers de Physique*, n° 9, 1942, p. 47 ; *Public. Observ. Lyon*, **3**, n° 10.

67. J. Gauzit, R. Grandmontagne, Les discontinuités de la haute atmosphère mises en évidence par la photométrie crépusculaire, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **214**, 1942, p. 799.

68. J. Gauzit, R. Grandmontagne, Essai d'interprétation des discontinuités crépusculaires, *Cahiers de Physique*, nº 9, 1942, p. 37 ; *Public. Observ. Lyon*, **3**, nº 10.
69. J. Gauzit, Sur l'origine de la couche ionosphérique E, *Comptes rendus Ac. Sc.*, **217**, 1943, p. 179.
70. J. Gauzit, Les recombinaisons moléculaires dans la haute atmosphère et l'origine de la couche ionosphérique E, *Cahiers de Physique*, nº 18, 1943, p. 33 ; *Public. Observ. Lyon*, **3**, nº 14.
71. J. Gauzit, L'ionosphère, *L'Astronomie*, **59**, 1945, p. 49.
72. J. Gauzit, Sur les conditions d'excitation des radiations interdites, *Annales d'Astrophysique*, **6**, 1943, p. 53.
73. J. Gauzit, Remarques sur la température de l'atmosphère supérieure, *Comptes rendus Acad. Sc.*, **219**, 1944, p. 134.
74. J. Gauzit, La température de l'atmosphère supérieure et la dissociation photochimique des molécules d'oxygène, *Annales de Géophysique*, **1**, 1945, p. 233.

RÉSUMÉ DES RECHERCHES SUR LE SPECTRE DU CIEL NOCTURNE

par

D. Barbier

Dix spectres du ciel nocturne ont été obtenus à l'Observatoire de Haute-Provence (lat. 43°56′ N) avec un spectrographe à optique de quartz donnant une dispersion de 150 Å/mm à 3.200 Å et de 630 Å/mm à 5.000 Å. La liste définitive des longueurs d'onde dans l'intervalle 4.662-3.084 Å se trouve dans [1].

Les identifications des bandes avec les systèmes de Vegard-Kaplan de N_2 (Cabannes et Dufay) et de Herzberg de O_2 (Dufay) sont confirmées. Une méthode nouvelle [1] a permis de montrer que la presque totalité des bandes non identifiées avec ces systèmes appartiennent à un système de bandes inconnu au laboratoire, provisoirement baptisé γ et dont les fréquences seraient données par :

$$G = 21.962 + 2.576\, v' - 23{,}8\, v'^2 - (2.152\, v''^2 - 12{,}7\, v''^2).$$

Ce système pourrait appartenir à la molécule CO.

On rend compte du contour des bandes de Herzberg par une température de la haute atmosphère de — 50° à — 100° C [2].

Une nouvelle méthode pratique pour le calcul des corrections de diffusion a été proposée [3]. Elle a déjà été utilisée par divers auteurs. Son application à la région des courtes longueurs d'onde [2] montre que les bandes de Vegard-Kaplan sont émises à une altitude très supérieure à celle des bandes de Herzberg. Ces altitudes seraient respectivement de 900 et 350 km.

Le spectre continu ultraviolet du ciel nocturne est très différent du spectre solaire [4]. Son « altitude équivalente » n'est pas

infinie [2] et [3]. Une fraction importante du « spectre continu » est émise dans notre atmosphère ; elle est attribuée aux ailes des diverses bandes. A 4.500 et 3.700 Å cette fraction est de l'ordre de deux tiers, vers 4.000 Å elle est de l'ordre de l'unité. La discontinuité du spectre continu vers 4.000 Å s'explique par le passage d'une région du spectre où les bandes de Vegard-Kaplan sont intenses à une région où ce sont les bandes de Herzberg qui dominent.

Il n'y a plus maintenant aucune difficulté à rendre compte des mesures photométriques et polarimétriques de la lumière du ciel nocturne.

Institut d'Astrophysique de Paris. Août 1947.

BIBLIOGRAPHIE

1. D. Barbier, *Annales d'Astrophysique*, **10**, 1947, p. 47.
2. D. Barbier, *Annales d'Astrophysique*, **10**, 1947, p. 141.
3. D. Barbier, *Annales de Géophysique*, **2**, 1944, p. 144.
4. D. Barbier, *Annales de Géophysique*, **3**, 1945, p. 224.

RAPPORT CONCERNANT LES RECHERCHES EFFECTUÉES PAR LES AUTEURS SUR LES RAIES DU CIEL CRÉPUSCULAIRE ET NOCTURNE PENDANT LA PÉRIODE DE 1940 A 1947

par

J. Bricard et A. Kastler

A la suite de l'hypothèse de Cabannes et Dufay, attribuant la raie jaune du Ciel Nocturne à une émission des raies D par des atomes de sodium présents dans la haute atmosphère, et après que R. Bernard eut constaté l'exaltation considérable de cette raie dans la lueur crépusculaire, Kastler [1] rappelle en 1938 les propriétés essentielles de la résonance optique du sodium.

Il montre en particulier l'intérêt que présenterait, d'une part, la mesure de la largeur de la raie D crépusculaire, dont on pourrait déduire la température des atomes émetteurs, d'autre part la détermination de l'état de polarisation de cette raie, qui donnerait une idée sur le mécanisme de son excitation.

I. — Les raies de résonance optique sont très fines ; leur largeur, conditionnée par l'effet Doppler-Fizeau, est de l'ordre de 10^{-3} Å. Kastler [2] propose une méthode très simple pour confirmer que la raie jaune atmosphérique est bien due à l'émission des raies D et pour étudier leur largeur, consistant à étudier son absorption par une cuve à faces parallèles contenant de la vapeur de sodium chauffée. Si la raie atmosphérique est due à une résonance optique d'atomes se trouvant à la température θ, elle doit être complètement absorbée par la vapeur de sodium sous la pression saturante correspondant à la température $\theta' > \theta$.

Cette méthode est essayée à Bordeaux en 1940, en adaptant à la raie jaune crépusculaire la technique d'absorption avec un spectrographe lumineux à ouverture de chambre F /0,7. Le montage comporte les éléments suivants :

Une lentille L projette sur la fente F du spectrographe les

images de deux cuves en quartz à faces parallèles juxtaposées C et C′. L'axe optique du système est dirigé vers le ciel à 23° de l'horizon en direction du nord. La cuve C a été évacuée et scellée après y avoir distillé un peu de sodium. On a vérifié qu'elle présente le phénomène de résonance optique. La cuve C′ sert de cuve témoin. On obtient ainsi sur la plaque deux spectres juxtaposés dont la lumière a traversé respectivement C et C′. L'ensemble des deux cuves C et C′ a été chauffé au bout d'une cheminée d'amiante à chicanes par le courant ascendant d'un bec de gaz. La température a été mesurée au contact de la cuve C immédiatement au-dessous d'elle (θ_2), et au-dessus d'elle (θ_1).

Le sodium métallique se rassemble sur la paroi supérieure de la cuve, et l'on peut admettre dans ces conditions que la pression de vapeur correspond à la température de la paroi la plus froide (θ_1), et la largeur Doppler de la raie d'absorption à la température maximum (θ_2). Cette hypothèse a été adoptée pour les calculs d'absorption.

Malgré l'imperfection du réglage thermique, le résultat qualitatif est déjà net : la raie crépusculaire D, très intense à travers la cuve témoin, s'affaiblit et finit par disparaître complètement lorsqu'elle est photographiée à travers la vapeur de sodium qu'on chauffe progressivement jusqu'à une température θ_1 de 200° C. Dans les mêmes conditions, la raie d'une petite flamme d'alcool salé ne subit aucun affaiblissement perceptible.

Comme d'après R. Bernard, l'intensité de la raie D_2 est environ le double de celle de la raie D_1 dans l'émission céleste, on peut admettre que l'autoabsorption des raies par le sodium atmosphérique est négligeable et considérer la forme des raies d'émission comme une forme Doppler pure. En appliquant à cet exemple les résultats théoriques établis par Mitchell et Zemansky, on en déduit que les composantes de la raie jaune crépusculaire ont une largeur de l'ordre de l'effet Doppler correspondant à l'intervalle de température compris entre 100° et 300° C, soit 0,03 Å. C'est l'ordre de grandeur de la finesse des raies dans les émissions de résonance.

II. — La même méthode est reprise en 1942 par Bricard et Kastler [3] à l'Observatoire du Pic du Midi pour l'étude des raies crépusculaire et nocturne, mais avec un montage perfectionné dans lequel on a remplacé notamment le chauffage au gaz par un thermostat à chauffage électrique. La raie nocturne est égale-

ment absorbable par la vapeur de sodium ; elle est donc assez fine. Toutefois, un examen détaillé des clichés montre que son absorption totale semble nécessiter des pressions de vapeur plus élevées que pour la raie crépusculaire, et même à ces pressions, les microphotogrammes révèlent encore l'existence d'un résidu non absorbé. Il est difficile de dire s'il s'agit d'un véritable reste de la raie D ou d'une bande d'émission ou de diffusion sous-jacente.

Une étude quantitative de l'absorption [4] de la raie crépusculaire est entreprise par les mêmes auteurs au Pic du Midi au cours des hivers 1942-1943 et 1943-1944 avec un dispositif expérimental comportant les éléments suivants :

La lentille L projette sur la fente FF′ du spectrographe à ouverture de chambre F/0,7 les images de trois cuves en quartz ou en pyrex à faces parallèles C, C_1 et C_2. Chacune des cuves C_1 et C_2, d'épaisseur intérieure 10 mm, comporte une queue communiquant avec la cuve. Les deux cuves ont été évaporées et scellées après y avoir distillé un peu de sodium. La cuve C, ouverte à l'air, et constituée simplement par deux lames à faces parallèles, sert de cuve témoin ; elle est placée entre les cuves C_1 et C_2. On obtient ainsi sur la plaque photographique trois spectres superposés, correspondant chacun respectivement à la lumière ayant traversé les cuves C_1, C ou C_2.

L'ensemble des trois cuves est disposé dans un four électrique à trois compartiments. Dans le compartiment central se trouvent les trois cuves proprement dites ; elles sont maintenues à la température T. Les queues plongeant dans les autres compartiments sont maintenues aux températures θ_1 et θ_2 inférieures à T, et l'on peut admettre que la pression de vapeur dans chacune des cuves correspond à la température de sa queue.

La lumière de la raie D se superpose à celle qui est diffusée par l'atmosphère, et qui l'accompagne toujours en proportions variables.

Le montage décrit ci-dessus permet d'éliminer la lumière due à ce fond continu : on peut l'évaluer dans la partie du spectre correspondant à l'une des cuves, maintenue à une température suffisante pour assurer l'absorption totale de la raie. On peut ainsi mesurer le taux d'absorption de la vapeur de sodium dans le spectre où l'absorption est partielle. D'ailleurs, un polaroïd convenablement orienté, placé devant la fente, permet de réduire l'importance du fond continu fortement polarisé.

Connaissant l'épaisseur de la cuve absorbante, sa température et la pression de vapeur, le calcul permet de déterminer la largeur d'effet Doppler de la raie émise par la haute atmosphère, et l'on a ainsi des renseignements sur la température des atomes émetteurs. On trouve que la finesse de la raie de luminescence aurorale du sodium correspondrait à la largeur d'effet Doppler des atomes à une température d'émission de l'ordre de 240° K. Il est difficile d'évaluer la précision qui demanderait à être confirmée par de nouvelles mesures en variant les conditions d'absorption ; dans la couche d'émission, la température serait ainsi de l'ordre de 240° ± 50° K. Des mesures de cette nature, avec un appareillage plus perfectionné, sont actuellement entreprises par M. Bacchus.

On a poursuivi durant la même période des mesures d'absorption de la raie jaune du Ciel Nocturne. Il se confirme que la raie nocturne se compose de deux parties, dont l'une est facilement absorbable, et dont l'autre partie reste inabsorbée par une cuve d'absorption où la pression de vapeur correspond à une température de queue de 210° C. Les intensités des deux parties sont du même ordre de grandeur. Ce résultat suggère que deux mécanismes différents interviennent dans la production de la raie nocturne :

1° Rediffusion de la raie de résonance dans l'atmosphère nocturne à partir de la couronne crépusculaire (raie fine absorbable) ;

2° Excitation des atomes de sodium par chocs de deuxième espèce (raie large non absorbable).

III. — De novembre 1942 à avril 1943, on a obtenu au crépuscule (ou à l'aurore) des spectres comportant une raie jaune parfaitement nette et se rapportant à des dépressions solaires comprises entre 6°30 et 10°. Dès le début d'avril, la brillance de la raie commence à diminuer, surtout sur les spectres correspondant aux faibles dépressions solaires, et le 15 avril, on constate que le seul spectre se rapportant aux dépressions comprises entre 8° et 10° donnait une raie encore visible. La raie jaune du Ciel Nocturne à cette époque était encore intense. En juin et juillet, la raie jaune du crépuscule, ainsi que celle du Ciel Nocturne, n'ont pas été mesurables, et dans la deuxième quinzaine d'août, la raie jaune crépusculaire correspondant aux dépressions solaires entre 8° et 10°, ainsi que celle du Ciel Nocturne, avaient reparu. Au début d'octobre, la raie jaune crépus-

culaire avait reparu sur l'ensemble des spectres, son intensité s'étant renforcée en novembre. Il en résulterait que la raie jaune du crépuscule et celle du Ciel Nocturne présentent des variations saisonnières analogues ; toutefois, la brillance de cette dernière ne paraît pas liée à celle de la raie du crépuscule qui précède, ou de l'aurore qui suit.

Les conditions météorologiques influent également sur l'intensité de la raie. Par vent d'ouest, elle est en général affaiblie, même lorsque le ciel est très pur au moment des poses : par temps sec et froid (vent du Nord), son intensité augmente, ce qui permet de la photographier quelquefois même par ciel cirreux. Cet effet, rapproché de la variation saisonnière, semble indiquer qu'une haute teneur en vapeur d'eau dans l'atmosphère est peu favorable à l'observation de la raie. Tout se passe comme si celle-ci (ou la lumière solaire qui l'excite) était absorbée par la vapeur d'eau, présente dans l'atmosphère en plus grande quantité durant les mois d'été.

Il a été fait en novembre 1943 une évaluation quantitative de la brillance de la raie D crépusculaire. A cet effet, on a photographié sur la même plaque et avec le même dispositif les spectres de la lumière crépusculaire, et des spectres de la lumière convenablement affaiblie d'une lampe Philips Philora au sodium d'intensité connue, alimentée sous régime fixe. Il en résulte que la brillance de la raie jaune crépusculaire atteint à la saison la plus favorable la valeur de $2 \cdot 10^{-7}$ b./d. cm². La lumière de la raie D est ainsi une part importante de la lumière crépusculaire pour les grandes longueurs d'onde ($\lambda > 5.850$ Å).

Pour un intervalle de l'ordre de la largeur des raies de luminescence D_1 et D_2 ($\Delta\lambda = 0{,}03$ Å), on trouve par le calcul à partir des données de Unsöld, que la brillance de la diffusion atmosphérique à angle droit du Soleil est, en tenant compte de la diffusion primaire et de la diffusion secondaire par les molécules d'air, de l'ordre de $3 \cdot 10^{-2}$ ergs/sec/cm²/stéradian. Au centre des raies de Fraunhofer D, l'éclairement spectral est réduit d'après C. W. Allen à moins de 1/10 de sa valeur d'alentour. La brillance résiduelle au fond de ces raies sombres, dans un spectre de la lumière diffuse du ciel, est donc de l'ordre de $3 \cdot 10^{-3}$ ergs/sec/cm²/stéradian pour $\Delta\lambda = 0{,}03$ Å. On voit que la brillance des composantes D_1 et D_2 de la raie de luminescence crépusculaire approche de cette valeur. Si l'émission est due à l'action du rayonnement solaire, elle ne peut qu'être plus intense encore en plein jour

qu'au crépuscule. On peut espérer, avec un spectrographe atteignant le pouvoir de résolution de 0,03 Å, voir se détacher les raies de luminescence au fond des bandes de Fraunhofer dans un spectre du ciel diurne. Un tel appareil est actuellement en cours de réalisation.

En adoptant l'hypothèse de la résonance optique excitée par les rayons solaires, la connaissance de la brillance de la lumière de résonance d'une part, celle de l'éclairement spectral du faisceau excitateur d'autre part, nous permettent de calculer une valeur approchée du nombre d'atomes de sodium contenus dans toute l'épaisseur de la couche lumineuse par unité de sa surface. On trouve ainsi que la brillance de la raie jaune crépusculaire correspond à la présence de 10^{10} atomes de sodium par centimètre carré de la couche émissive.

IV. — Au cours des hivers 1945-1946 et 1946-1947, des recherches ont été entreprises [5] en vue de détecter la raie jaune crépusculaire par la méthode Savart-Lyot sans spectrographe, et de mesurer sa polarisation, avec l'appareil suivant :

Une lame de quartz à faces parallèles de 13 mm d'épaisseur, taillée à 30° de son axe optique, entre deux polaroïds croisés dont les sections principales sont à 45° de ses lignes neutres, donne, en lumière monochromatique convergente, un système de franges que l'on peut photographier en plaçant derrière l'ensemble l'objectif L_1 d'un appareil photographique réglé sur l'infini. La bande spectrale efficace doit être d'autant plus étroite que la lame est plus épaisse.

Pour augmenter la luminosité, on a employé l'artifice de M. Lyot, qui consiste à remplacer l'analyseur par un biréfringent dont les sections principales sont orientées à 45° des lignes neutres de la lame, et de séparation telle que les franges brillantes correspondant à l'une de ses images coïncident avec celles de l'autre image.

Pointé vers le nord à 30° sur l'horizon et muni d'un écran Wratten n° 22 et de plaques Kodak D ou T, cet appareil a permis d'obtenir au crépuscule des clichés montrant la présence de franges parfaitement nettes ; le dispositif suivant permet de les attribuer à la raie jaune crépusculaire, et non pas à la bande jaune particulièrement intense pour les faibles dépressions solaires : on place devant l'appareil un second objectif L_2 dans le plan focal duquel on a placé deux cuves contenant de la vapeur de

sodium ; l'image de ces deux cuves est au point sur la plaque photographique. L'une d'elles est froide, l'autre est maintenue à une température suffisante pour assurer l'absorption de la raie D crépusculaire ; les clichés obtenus dans ces conditions montrent que les franges correspondant aux rayons qui ont traversé la cuve chauffée ont disparu. Ces franges sont donc bien dues à la raie D du Ciel Crépusculaire.

Le même appareil, où le polariseur initial est remplacé par deux lames de verre inclinées dont les axes d'inclinaison sont croisés, peut être utilisé comme polarimètre pour rechercher si la raie D du Ciel Crépusculaire est polarisée ou non. Sa polarisation doit se manifester par une dissymétrie du contraste des franges données par les deux lames de verre également inclinées. Cette étude est actuellement en cours. Le même appareil est également utilisé pour la détection et l'étude de la polarisation des autres raies du Ciel Nocturne (5577 Å, et 6300 Å), en se servant de filtres Wratten et d'émulsions photographiques convenables.

Étant donné la variation saisonnière importante présentée par la raie D du Ciel Crépusculaire et Nocturne, il serait du plus haut intérêt d'entreprendre des mesures d'intensité suivies dans un observatoire de l'hémisphère austral. Ces mesures pourraient être aisément réalisées sans spectrographe, avec un polariscope Savart-Lyot.

Paris, 15 mai 1947.

BIBLIOGRAPHIE

1. A. Kastler, Sur les propriétés de la lumière de résonance de la vapeur de sodium et leur application à l'étude de la raie jaune atmosphérique, *Procès-verbaux des séances de la Soc. des Sc. Phys. et natur. de Bordeaux*, année 1937-1938, p. 164.
2. A. Kastler, Sur l'absorption par la vapeur de sodium de la raie jaune crépusculaire, *C. R.*, **210**, 1940, p. 530.
3. J. Bricard et A. Kastler, Sur l'absorption par la vapeur de sodium de la raie jaune du Ciel Nocturne, *C. R.*, **216**, 1943, p. 878.
4. J. Bricard et A. Kastler, Recherches sur la radiation D du sodium dans la lumière du Ciel Crépusculaire et Nocturne, *Ann. de Géophys.*, **1**, fasc. 1, 1944, p. 53.
5. J. Bricard et A. Kastler, Application du polariscope Savart-Lyot à la détection des raies du Ciel Nocturne et Crépusculaire et à l'étude de leur polarisation, *C. R.* **224**, 1947, p. 1555.

M. J. Dufay a montré dans un travail récent (*C. R.*, **225**, 1947, p. 690) que les radiations qui excitent la raie D au crépuscule sont très probablement les radiations jaunes du Soleil et non pas des radiations ultraviolettes. Cette constatation fournit un argument de plus en faveur de l'hypothèse de résonance optique.

SOME INVESTIGATIONS AT THE AROSA LIGHT-CLIMATIC OBSERVATORY TOUCHING SOLAR-TERRESTRIAL RELATIONSHIPS

by

F. W. Paul Götz

1. *Atmospheric Ozone.* — The longer our series of measurements of total atmospheric ozone is continued (extending now from 1926 to 46), the less an influence of the eleven year period appears to be (fig. 1). However, the amount of ozone seems to have periods of 27 and 15,5 days with small amplitudes [1]. The 15,5 day-wave is fixed with the calendar in the manner that 21st June solstice and 22nd September equinox have ozone minima.

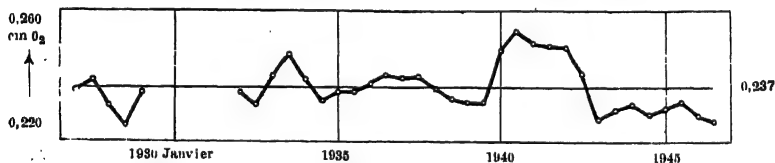
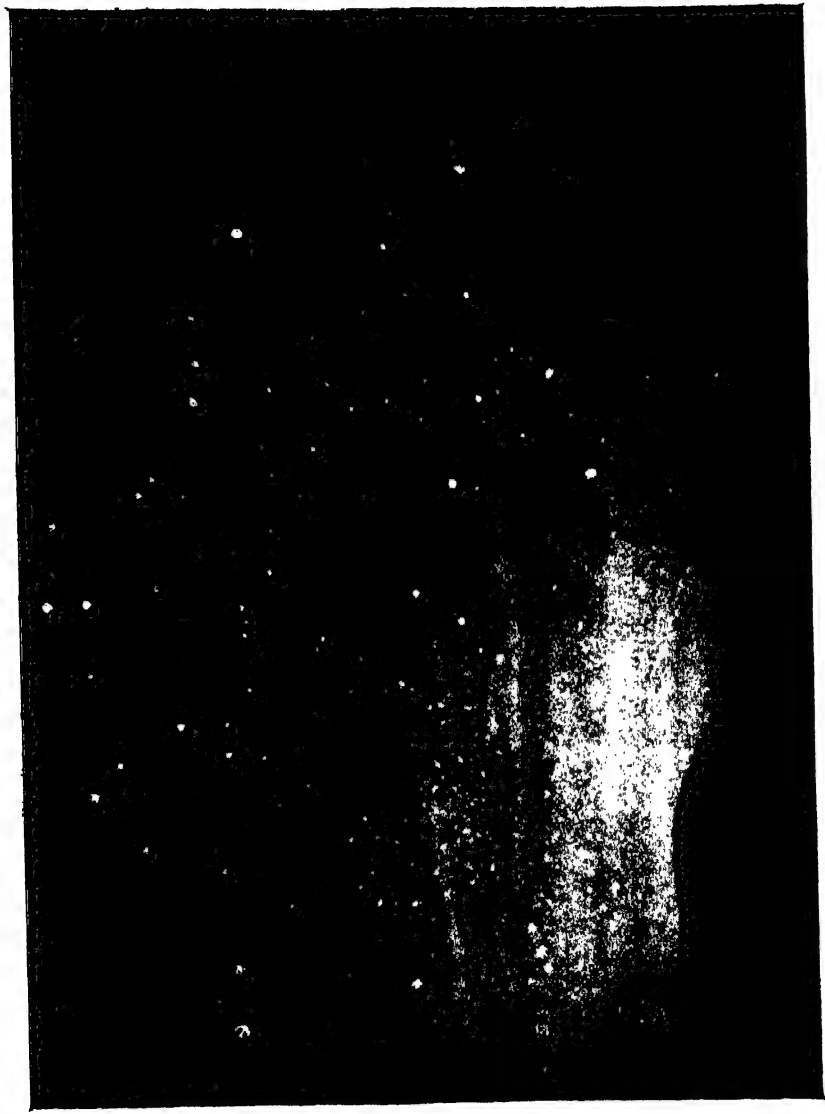



Fig. 1. — Annual means of atmospheric ozone, Arosa.

This would be more certainly settled by series of measurements in more southern regions where ozone varies less with weather inconstancy.

2. *Southern Aurorae.* — Aurora of January 25th, 1938 had such a large intensity of the red oxygen line 6300 Å that the emission was practically monochromatic. This was the regular case at Arosa (latitude 47° N). On September 18th, 1941, 6300 Å was still ten times stronger than the green line 5577 Å [2]. On

Bright night (with ionospheric structure) Arosa, January 27th, 1941 (Draco, 22^h26 M. E. T).

this night, the spectrogram with 8 hours exposure brought out the line 5199 (and 3467) of atomic nitrogen. 5199 Å was even visible in a luminous spectroscope as a second auroral green line accompanying 5577 Å [3]. Previously Vogel has probably seen this line in 1872. A simultaneous measurement of the altitude [4] attributes the N-emission to sunlit rays between 230 and 530 km. The spectrogram of March 29th, 1940, shows some remarkable features : the D-line of sodium and the H-line discovered by Vegard and Störmer. It is striking that 5199 Å has up to now not been found in northern latitudes. Furthermore the future must decide whether 5199 Å appears only during the descending part of sunspot cycle. At all events the nebular atomic lines are characteristic for the southern aurorae of sunspot maximum.

3. *Bright nights.* — Bright nights (« helle Nächte », not to be confused with luminous night clouds) occured especially 1940 and 1941 [5], years between sunspot maximum and sunspot minimum as the similar phenomena 1783, 1831, 1853 /55, 1861 /62, 1871 /72, 1897 /99 and 1921 /22. Bright nights with structure of the background of the sky (« Leuchtstreifen ») have a tendency to recur after 27 days as we stated with a nice photographic series of the bright nights December 2nd and 29th, 1940, January 27th, 1941 and March 20th, 1941. They may resemble a faint glow of aurora, yet their spectrum is a reinforced night sky spectrum. As already stated on January 9th, 1937 [6], the intensity of the yellow D-line increases abnormally. On January 27th, 1941 (plate II) the height of the cloud structure could be identified with the lower ionosphere, probably the abnormal meteoric E-layer. As stated in 1935, the invasion of cosmic dust particles favours the E-layer emission [7]. It is debatable whether such turbidity in the high atmosphere might not be observed in the day light sky ; in one case with most favorable winter conditions of the high mountains this seems to have succeeded [8].

4. *Size and number of turbidity particles.* — In this connection our spectographic method (not yet published in detail) of measuring the size and amount of turbidity particles might be useful. It is based on the « anomalous extinction » found at Arosa as early as 1922, that is that haze and dust extinguish the long more than the short ultraviolet wavelengths. For instance, the radiation measurements after Katmai eruption give for the

whole vertical column of the atmosphere 10^8 dust particles /cm² of diameter 0,4 μ and 7 · 10^6 haze particles/cm² of diameter 0,8 μ [9].

Arosa (Switzerland).

REFERENCES

1. F. W. PAUL GÖTZ, Ozonwellen, *Verh. Schweiz. Naturf. Ges. (SNG), Schaffhausen*, 1943, p. 87 ; Der Stand des Ozonproblems, *Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zürich*, **89**, 1944, p. 250 ; Périodicités dans les phénomènes de la haute atmosphère, *Conf. Intern. Lyon*, 1947.
2. F. W. PAUL GÖTZ und PH. CASPARIS, Das Nordlicht vom 18. bis 20. September 1941 in Arosa. *Zs. f. angew. Met.*, **58**, 1941, p. 337.
3. F. W. PAUL GÖTZ, Deutung einer weiteren grünen Nordlichtlinie. Erwiderung auf die Bemerkungen von L. Vegard. *Naturw.*, **30**, 1942, p. 752 (and *Naturw.*, **29**, 1941, p. 690) ; Zum Nordlichtspektrum des 17. April 1947, *Experientia* **3**, 1947, p. 185.
4. F. W. PAUL GÖTZ und FRIEDR. SCHMID, Höhenmessung des Nordlichts vom 18. September 1941. *Verh. SNG Sitten*, 1942, p. 88.
5. F. W. PAUL GÖTZ. Helle Nächte. *Verh. SNG Basel*, 1941, p. 106.
6. F. W. PAUL GÖTZ, Das Nachthimmelslicht. *Handb. d. Geophys.* VIII, Berlin, 1943, p. 415, fig. 140.
7. F. W. PAUL GÖTZ, Bemerkungen zur Absorption der hohen Atmosphäre. *Met. Zs.*, **52**, 1935, p. 471.
8. F. W. PAUL GÖTZ, Bemerkung zu den hellen Streifen am Nachthimmel. *Astron. Nachr.*, **221**, 1924, p. 335.
9. F. W. PAUL GÖTZ, Grösse und Betrag der atmosphärischen Trübungsteilchen. *Verh. SNG Sils*, 1944, p. 88.

DENSITÉS DE LA HAUTE ATMOSPHÈRE D'APRÈS LES BRILLANCES CRÉPUSCULAIRES AU ZÉNITH

par

F. Link

La brillance du ciel crépusculaire au zénith est donnée par l'intégrale :

$$b = \text{constante} \int_{H}^{\infty} \rho E \, dh,$$

où E est l'éclairement solaire et ρ la densité de l'air à l'altitude h sur la verticale d'observation. H est l'altitude de la limite de l'ombre sur cette verticale.

Nous avons indiqué en 1935 une méthode [1] qui permet de déduire de la brillance b l'allure de la densité de l'air avec l'altitude. Cette méthode a pu être perfectionnée grâce aux tables d'éclairements [5] crépusculaires qui donnent E en fonction de l'altitude et de la dépression du Soleil U. L'application de cette méthode suppose naturellement que la diffusion secondaire est négligeable par rapport à la diffusion primaire. Nous avons pu, en collaboration avec la section de Calcul de la Société astronomique tchèque, effectuer des calculs — très longs d'ailleurs — du rapport entre les diffusions primaire et secondaire [2]. On trouve, pour U = 10° et la longueur d'onde λ = 5.300 Å, que, dans la brillance mesurée au zénith il y a au maximum 1/3 de la brillance due à la diffusion secondaire. Dans l'infrarouge, ce rapport se réduit vers 8.000 Å à 1/15 environ, ce qui est déjà négligeable.

Pour mesurer la brillance crépusculaire en infrarouge nous avons utilisé une cellule photoélectrique combinée avec un multiplicateur d'électrons à trois étages *Philips 3520*. Les résultats d'une série de 27 courbes $\log b = f(U)$ donnent alors le tableau suivant [3] :

h/km	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180
— log ρ....	3,04	3,60	4,17	4,54	4,80	5,04	5,51	5,95	6,36	6,71

Comme l'intervalle d'intégration H... ∞ est pratiquement de l'ordre de 50 à 100 km, toutes les particularités de la fonction $\rho = f(h)$ se trouvent en grande partie effacées dans nos résultats, qui contiennent en plus la constante d'intégration inconnue.

Néanmoins les écarts O—C accusent une fluctuation vers U=11° déjà signalée par Brunner-Hagger [4]. L'explication est peut-être dans la luminescence des couches d'air vers 100 km d'altitude ou dans la présence d'un autre milieu diffusant, par exemple, des poussières météoriques. Les résultats crépusculaires confirment de nouveau le faible gradient de densité au-dessus de 100 km. Comme explication on peut envisager aussi la turbulence de l'air dont la vitesse serait de l'ordre de 0,8 km/sec.

Observatoire national, Ondrejov u Prahy, Tchécoslovaquie. 13 avril 1947.

BIBLIOGRAPHIE

1. *C. R.*, **200**, 1935, p. 78.
2. *Met. Zeit.*, **59**, 1942, p. 7.
3. *Met. Zeit.*, **61**, 1944, p. 87.
4. *Publ. Sternw. Zürich*, **6**, 1935, p. 81.
5. *Mitt. Tscheh. Astr. Ges.*, *Prague*, 1941, n° 6.

EXPLORATION MÉTÉORIQUE DE LA HAUTE ATMOSPHÈRE

par

F. LINK

L'exploration météorique de la haute atmosphère a été inaugurée par Lindemann et Dobson en 1923 [1]. Puis de nouvelles théories ont été émises qui cherchent surtout à traiter les problèmes météoriques proprement dits sans viser spécialement l'exploration de la haute atmosphère entre 50 et 150 km où l'on observe la plupart des météores. Pour combler cette lacune nous avons adapté et modifié la théorie d'Öpik [2]. Dans cette voie nous avons été guidé par les considérations suivantes :

1° Le problème météorique de la haute atmosphère contient trop d'inconnues. Nous éliminerons la plus importante, c'est-à-dire la densité de l'air, dont les valeurs nous fourniront la théorie photométrique du crépuscule [4] ;

2° Les données d'observation sont en général maigres et peu précises. Seules, les altitudes d'apparition et de disparition sont assez satisfaisantes. La théorie d'Öpik ne demande que ces altitudes et elle est par suite capable de nous rendre service dans le but visé.

D'après cette théorie [3], le rapport des masses d'air traversées par le météore entre l'entrée dans l'atmosphère et l'apparition ou la disparition est égal à :

$$\frac{M_d}{M_a} = \frac{q + h}{q},$$

où q est la quantité de chaleur nécessaire pour porter un gramme de la matière météorique à la température d'évaporation et h

la chaleur nécessaire pour l'évaporation qui suit. Pour les sidérites, Öpik donne $k = 4{,}1$ et pour les météores pierreux $k = 2{,}9$ approximativement. La théorie ne s'applique qu'aux météores faibles $m > 0$ environ.

Dans l'application de la théorie d'Öpik, nous avons calculé le rapport k pour 881 météores dont la trajectoire géocentrique est

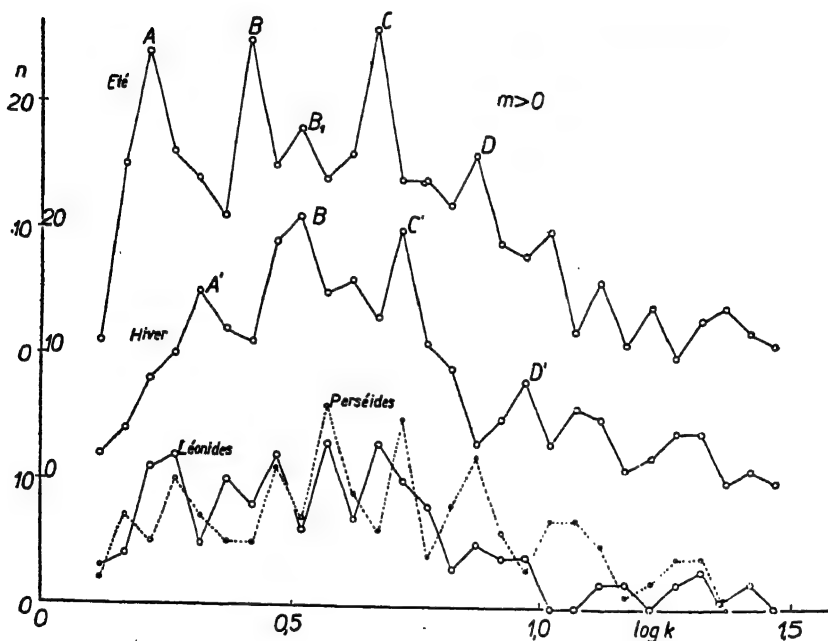



Fig. 1. — Statistique des rapports des masses d'air.

connue, en puisant dans les catalogues de Denning, Wills et autres, et en calculant les masses d'air d'après nos résultats crépusculaires [4]. Les statistiques de fréquence du rapport k ou bien $\log k$ sont représentées sur la figure 1. Les deux premières courbes sont relatives aux météores sporadiques traités séparément en été et en hiver. On y constate trois maxima de fréquence A, B, C, dont B correspond aux météores pierreux et C aux sidérites. Le premier maximum A semble indiquer une nouvelle catégorie de météores ou un mécanisme d'évaporation

tout différent de celui que suppose la théorie. Les positions moyennes $\frac{1}{2}(B + B') = 0{,}47$ et $\frac{1}{2}(C + C') = 0{,}70$ sont en assez bon accord avec les valeurs théoriques 0,47 et 0,62. De cet accord on peut conclure à l'exactitude essentielle de nos densités crépusculaires. Quant au décalage entre les maxima d'été et d'hiver, on peut l'interpréter, notamment, comme l'effet de température qui serait plus basse en été qu'en hiver. D'une façon générale le gradient de densité semble être plus faible en hiver qu'en été aux altitudes comprises entre 80 et 120 km environ. De nouvelles recherches sont en cours, en utilisant un nombre plus élevé de météores.

Observatoire national, Ondrejov u Prahy,
Tchécoslovaquie.

13 avril 1947.

BIBLIOGRAPHIE

1. *Proc. Roy. Soc. London* A, **102**, 1923, p. 411.
2. *C. R.*, **221**, 1945, p. 326 ; *Publ. Obs. Prague*, 18, 1947.
3. *Publ. Obs. Tartu*, **29**, nº 5, 1937.
4. *Met. Zeit.*, **61**, 1944, p. 87 ; *C. R.*, **222**, 1946, p. 333.

PROBLÈMES SOULEVÉS PAR LA PHOTOMÉTRIE DES ÉCLIPSES DE LUNE

par

F. LINK

En poursuivant mes recherches sur les éclipses de Lune, j'ai pu mettre en évidence quelques phénomènes nouveaux dont l'interprétation rentre dans le domaine traité par cette Commission.

1° Les isophotes de l'ombre ont montré pendant plusieurs éclipses un aplatissement suivant la direction Nord-Sud. Ce fait est explicable par la répartition géographique de l'ozone atmosphérique dont la quantité croit de l'équateur vers les pôles [1].

2° Dans la pénombre, au voisinage de la limite de l'ombre, on a pu constater à plusieurs reprises un excès de l'éclairement sur l'éclairement théorique. Les différences peuvent atteindre parfois environ $0^m,5$ et leur réalité est hors de doute, ayant été observées, par différents observateurs à l'aide de méthodes différentes. Une insuffisance de l'éclairement serait facilement explicable par l'absorption dans la haute atmosphère terrestre. Un excès est beaucoup plus difficile à expliquer. Nous avons alors proposé une hypothèse de travail [2] qui consiste à admettre que la Lune devient luminescente sous l'action des rayons solaires. En effet l'absence de l'atmosphère lunaire favorise une action des rayons ultraviolets et corpusculaires émis par le Soleil ou par l'atmosphère solaire. Comme cette dernière est, dans la pénombre, moins éclipsée par la Terre que le Soleil, il se produit un excès de l'éclairement. Dans cet ordre d'idées, il y aurait par moments dans la lumière de la pleine Lune une proportion atteignant 10 % de la composante luminescente.

Nous avons pu établir une corrélation entre les variations de la constante solaire d'après Abbot [3] et celles de la magnitude

globale de la Lune d'après Rougier [4] avec le coefficient de corrélation $r = -0{,}438 \pm 0{,}054$/e. p./, $n = 94$. Une variation de 1 % dans la constante solaire produit une variation environ 30 fois plus grande dans l'intensité de la Lune. Nous pouvons rapprocher ces résultats de ceux d'Abbot qui a trouvé que le rapport des variations spectrales et des variations de la constante solaire croît vers les courtes longueurs d'onde et atteint la valeur de 6 environ vers 3.500 Å. Ce rapport doit croître davantage vers les limites du spectre comme semblent le prouver les mesures optiques de Pettit et les mesures ionosphériques. Suivant notre hypothèse de travail, les variations lunaires seraient régies par les variations de l'ultraviolet solaire, inaccessible dans toute son étendue aux mesures directes.

Si cette hypothèse se trouvait vérifiée par les recherches ultérieures, la Lune constituerait devant nos yeux une cible permettant d'étudier les variations de l'émission ultraviolette solaire dont l'observation est interdite à la surface terrestre à cause de l'atmosphère. L'action des rayons corpusculaires peut être également envisagée. En tous cas l'excès de l'éclairement dans la pénombre dans plusieurs éclipses est un fait bien établi et demande une explication.

3° Pendant l'éclipse du 18 décembre 1945 j'ai pu étudier en détail les isophotes de la pénombre au voisinage de la limite de l'ombre [5]. Les isophotes se sont montrées aplaties dans le même sens que la Terre. Toutefois l'aplatissement est plus prononcé et son explication doit être basée sur les variations de la structure de la haute atmosphère avec la latitude. Une analyse basée sur plusieurs éclipses permettra de tirer quelques conclusions sur la structure de la haute atmosphère à condition que l'on étudie aussi la brillance du disque solaire vers son bord extrême. Ces études peuvent être poursuivies, notamment, pendant les éclipses totales du Soleil suivant la méthode de Julius.

Observatoire national, Ondrejov u Prahy, Tchécoslovaquie. 13 avril 1947.

BIBLIOGRAPHIE

1. *Annales d'Astrophysique*, **9**, 1946, p. 227.
2. *Comptes rendus*, **223**, 1946, p. 976.
3. *Annals Astroph. Observ. Smiths. Inst.*, **6**, 1942.
4. *Annales Observ. Strasbourg*, **2**, 1933.
5. *Comptes rendus*, **223**, 1946, p. 718.

SOME PROBLEMS OF THE UPPER ATMOSPHERE

by

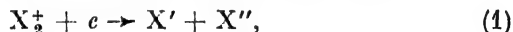
H. S. W. Massey

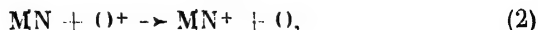
There is no doubt that the ionization in the high atmosphere of the earth is produced by radiation emanating from the sun. It is also clear from the study of eclipse effects that the velocity of this radiation is very closely that of light [1] [2] [3]. In view of this it is reasonable to assume that solar ultraviolet radiation is in fact responsible for the production of the normal ionosphere. There are two other related phenomena which depend on solar influences — the night sky light and the aurora. The development of atomic physics makes possible an attempt to analyse the underlying reactions responsible for these phenomena. In doing so a number of problems arise. It is the purpose of this note to call attention to some of these.

We consider first the formation of the ionized layers. To do this the Sun is assumed to behave as a black body at temperature of 6,000°K as far as the intensity and quality of its radiation is concerned. In the highest regions of the atmosphere the only important constituents are N_2 and O. According to the Chapman theory [4] of layer formation the rate of ion production due to a particular process will have a maximum where the concentration n of the ionizable atoms or molecules concerned is equal to $\cos \chi /AH$, χ being the solar zenith angle, H the scale height and A the absorption coefficient for the process concerned. The value of A for atomic oxygen may be obtained with sufficient accuracy from quantum theory [5] [6] [7]. Using this it is found that ionization of atomic oxygen at its lowest ionization potential should give rise to a maximum rate of production at about the F_1 region. As the first ionization potential of O is less than that

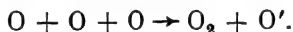
of N_2, all the radiation of quantum energy sufficient to ionize N_2 will have been absorbed before reaching this level, i. e. in forming F_2. It would appear that the only process which could be responsible for the formation of the E layer would be the ionization of O_2 at its first ionization potential (1.3 volts lower than that of O) [8] [9]. The absorption coefficient for this process appears, however, to be so low that the maximum would occur well below the E region [9] [10] [11]. What then is the origin of E ? Even were this solved there would still be the question of the mode of formation of the D layer.

A second set of problems arise when the rate of loss of ionization is considered. The observational evidence indicates strongly that, in the E region [10] and probably also in F_1, this loss follows a recombination law with a coefficient independent of the pressure. Direct electron-ion recombination with emission of radiation can be shown, from quantum theory, to give much too small a rate of loss [6]. An alternative which has found favour is to suppose that an equilibrium is set up between electrons and negative ions due to a balance between processes of attachment and detachment [6] [8] [9]. If λ is the ratio of negative ion to electron concentration and α_i the coefficient for two-body recombination of negative and positive ions it may be shown that the effective recombination coefficient for electrons would be $\lambda\alpha_i$. The difficulty about this is that, during the daytime, there is such a high rate of detachment of electrons from negative ions by absorption of sunlight that λ cannot rise above 1/10th or less [8] [9], and indeed must be much smaller still if the pressure independence of $\lambda\alpha_i$ is to be retained. As a result, to give the observed α, a value of α_i is required which is impossibly high. Recently [13] it has been suggested that the process responsible for electron loss is that of dissociative recombination*:

$$X_2^+ + e \rightarrow X' + X'', \quad (1)$$

in which a molecular ion captures an electron, the surplus energy being taken up in producing dissociation. In a region in which atomic ions are present in an appreciable proportion, as for example O^+ in F_1, it is necessary to suppose further that a molecular species MN is present with ionization potential less than that of the atom so the transfer reaction

$$MN + O^+ \rightarrow MN^+ + O, \quad (2)$$

can proceed. With a small proportional concentration (about 1/100) of these molecules present (as for example O_2 or NO) and a sufficient rate for the transfer reaction, this could lead to a recombination coefficient of the order observed. This theory is still very tentative and a decision on it must await further knowledge of the reaction rates for (1) and (2).

The origin of the night sky light presents many problems. The green and red lines of oxygen are very prominent in this emission. It has been suggested by Chapman [4] that the origin of the excitation is the atomic recombination process

$$O + O + O \rightarrow O_2 + O'.$$

This may well occur at a sufficient rate to maintain the supply of metastable D atoms at the required level. On the other hand it would lead to a maximum intensity of emission where the concentration of atomic oxygen is greatest, i. e. in the neighbourhood of 100 kms. Available evidence [14] indicates a higher source. Furthermore, the process cannot be applied to explain the emission of the nitrogen positive bands because it is energetically impossible to produce the excited N_2 molecules from recombination of atomic oxygen. One of the colliding O atoms would have to be in a metastable state and the concentration of these is so low that the rate of production of excited N_2 would be wholly inadequate. Much systematic observational work is still required to provide a detailed and reliable background on which to base a satisfactory theory.

These are numerous problems associated with the aurora. Many of these are concerned with the motion of charged particles in the earth's magnetic field but others occur when the interpretation of auroral spectra is attempted. A cardinal point here is whether the allowed lines of atomic oxygen do or do not appear with appreciable intensity in the auroral spectrum. As the excitation of the nitrogen negative bands indicates that adequate energy is available, one would expect the lines to show up with some strength. It appears doubtful whether they do and the elucidation of this matter is of considerable importance.

University College, London. 15th April 1947.

REFERENCES

1 APPLETON and CHAPMAN, *Proc. Inst. Radio Engrs.*, N. Y., **23**, 1935, p. 658.
2. PIERCE, HIGGS and HALLIDAY, *Phys. Rev.*, **58**, 1940, p. 1119.
3. HIGGS, *Month. Not. R. Astr. Soc.*, **102**, 1942, p. 24.
4. CHAPMAN, *Proc. Roy. Soc. A.*, **132**, 1931, p. 353.
5. SAHA and RAI, *Proc. Nat. Inst. Sci., India*, **1**, 1938, p. 227.
6. BATES, BUCKINGHAM, MASSEY and UNWIN, *Proc. Roy. Soc. A.*, **170**, 1939, p. 322.
7. YAMANOUCHI and KATANI, 1940.
8. MASSEY and BATES, *Rep. Progr. Phys.*, **9**, 1943, p. 62.
9. BATES and MASSEY, *Proc. Roy. Soc. A*, **187**, 1946, p. 261. This paper includes numerous references to work in all aspects of the ionosphere.
10. CHAPMAN and PRICE. *Rep. Progr. Phys.*, **3**, 1936, p. 42.
11. PRICE, *Rep. Progr. Phys.*, **9**, 1943, p. 10.
12. APPLETON, NAISMITH and INGRAM, *Phil. Trans. Roy. Soc. A.*, **236**, 1937, p. 191.
13. BATES and MASSEY. *Proc. Roy. Soc. A.*, in course of publication.
14. ELVEY and FARNSWORTH, *Astrophys. J.*, **96**, 1942, p. 451.

THE SPECTRUM OF THE NIGHT SKY

by

R. W. B. Pearse

Recent improvements in the photography of the spectrum of the light received from the night-sky and especially the extension of the range of observation into the ultra-violet region beyond 3900 Å show that this spectrum is very complex. The analysis of the spectrum is still impeded by the smallness of the dispersion available and the present position with regard to the identification of the emitters of most of the lines or bands must be regarded as very unsatisfactory. The ultra-violet region is particularly interesting. Here the lines or bands are especially distinct and measures by Elvey, Swings and Linke at the Mc Donald Observatory, Texas and by Barbier at the Observatory of Haute-Provence are in very good agreement, yet their identification is most uncertain. Moreover, in this region the spectrum differs most profoundly from that of the aurora.

Comparison of the night sky and aurora

In the absence of moonlight and of auroral activity the spectrum of the night-sky appears to be much the same for all directions of observation and for all parts of the earth. For convenience of discussion it may be divided into four parts :

1. Strong lines λλ 5577, 6300, 6364 identified as the forbidden transitions $^1D_2 — ^1S_0$ and $^3P_{2,1} — ^1D_2$ in the neutral oxygen atom.

2. the line λ 5893 identified as a blend of the D lines of Na, $^2S_{1/2} — ^2P_{1/2, 3/2}$.

3. a continuous background which is prominent throughout the visible region to about 3900 Å and which closely resembles sunlight in its intensity distribution and in showing the H and K lines of Ca^+ in absorption.

4. numerous lines or bands which are somewhat lost in the continuum throughout the visible region but which are very distinct on the short-wave side of 3900 Å.

The aurorae consist of strongly localized regions of much more intense luminosity, which exhibit various characteristic forms and are observed in polar regions. If it is assumed that this is something added to the usual luminosity then with sufficient exposure the auroral spectrum should show all the features of the night-sky spectrum together with others characteristic of the aurora. In general, however, the exposures given are much shorter than this and the Na lines, the continuum and the bands of the night-sky spectrum are not observed. The oxygen lines of the night-sky spectrum, however, are observed and are therefore strengthened by the auroral activity while in addition appear the following bands which are not found in the night-sky spectrum :

N_2^+	4709 (0,2),	4652 (1,3),	4600 (2,4),	4554 (3,5),
	4278 (0,1),	4237 (1,2),	4199 (2,3),	3914 (0,0).

These are all members of one band system and contain the strongest bands observed in the auroral spectrum. Further additional bands belonging to N_2, second positive system, 4417 (3,8), 4355 (4,9), 4344 (0,4), 4059 (0,3), 3998 (1,4) are also sometimes obtained as well as some bands of N_2, first positive system in the red region of the spectrum. Thus we may regard these bands of N_2^+ and N_2 as characteristic of auroral activity while the red and green oxygen lines may be produced by both modes of excitation. Simultaneous exposures to different regions of the sky during auroral activity with a quartz spectrograph similar to those made by Slipher with a glass instrument would be of interest in showing whether changes of relative intensity are produced among the bands of the night-sky spectrum by the auroral excitation. This is especially so since many of the strongest bands of the night-sky spectrum lie between 3900 Å and 3100 Å. Recent photographs of the spectrum in this region obtained by Elvey, Swings and Linke, and by Barbier show

an almost identical appearance which is very characteristic and unlike that obtained from any other source.

In the accompanying table is given a list of the wavelengths obtained by Barbier for the ten strongest bands in this region together with the corresponding results of Elvey, Swings and Linke. Under the heading « identification » are given suggested origins for the bands, contained in the paper by Elvey, Swings and Linke and in a later one by Swings. Of these, N_2 3371 and NH 3360, 3371 can almost certainly be ruled out. The night-sky band as seen in Barbiers' photograph is very sharp on the violet side and shaded to the red, whereas N_2 3371 is degraded to the violet and the two NH bands are both very symmetrical structures. The absence of N_2 3371, which is the strongest band of the second positive system, from the spectrum of the night-sky seems fairly conclusive evidence that this is not excited by high speed particles which would be expected to give a spectrum similar to that of the aurora.

It is next to be remarked that very few of the bands proposed as identifications have ever been observed in the laboratory. With 25 metres of oxygen at 1 atmosphere pressure, Herzberg observed bands in absorption from λ 2595 — λ 2429, and the extension of the system to longer wavelengths has been calculated by Swings. The Lyman-Birge-Hopfield bands of N_2 have been observed both in absorption and in emission in the vacuum ultra-violet region but the system has not been extended to wavelengths longer than 2600 Å. The Vegard-Kaplan system of N_2 is regarded as the most probable of the identifications of the night-sky bands in the blue region, yet of these ultra-violet bands only four are attributed to this system, and of these, three have not been observed in the laboratory and the fourth only with low intensity ; whereas, stronger bands obtained by Bernard and by R. Herman and L. Herman in the laboratory in this region of the spectrum do not appear in the list. Some special form of excitation would have to be invoked to account for this unusual intensity distribution. In any case, it would appear impossible to account for more than a fraction of the strong bands by the Vegard-Kaplan system.

Finally, it may be noted that even the conservative lists of well substantiated radiations given by Elvey, Swings and Linke and by Barbier contain 52 and 62 wavelengths respectively. With this degree of complexity and with the small dispersion

STRONG ULTRA-VIOLET BANDS OF THE NIGHT-SKY

BARBIER	ELVEY SWINGS LINKE	IDENTIFICATION		
$\lambda(i)$	$\lambda(i)$	Mol.	$\lambda(v', v'')$	System (1)
3145 (3)	3145 (1)	CH	3143 (0,0)	
		N_2	3148 (9,26)	L. B. H.
		O_2	3141 (1,3)	H
		O_2	3143 (3,4)	H
3212 (3)	3211 (3)	N_2	3210 (2,20)	L. B. H.
		N_2	3209 (7,13)	V. K.
		O_2	3205 (7,6)	H
		O_2	3208 (0,3)	H
		O_2	3209 (2,4)	H
3294 (5)	3298 (3)	N_2	3298 (8,26)	L. B. H.
		Na	3303	
		O_2	3294 (3,5)	H
3370 (7)	3378 (5)	N_2	3375 (0,19)	L. B. H.
		N_2	3388 (1,20)	L. B. H.
		O_2	3370 (0,14)	S. R.
		NO	3386, 3376 (0,9)	β
		NH	3360 (0,0)	β
		NH	3371 (1,1)	β
		N_2	3353 (0,9)	V. K.
		N_2	3371 (0,0)	2nd. Pos.
		O_2	3367 (2,5)	H
		O_2	3368 (0,4)	H
		O_2	3381 (4,6)	H
3483 (5)	3488 (3)	N_2	3492 (9,28)	L. B. H.
		O_2	3478 (5,7)	H
3544 (10) 3553 (7)	3556 (10)	O_2	3539 (2,6)	H
		O_2	3542 (0,5)	H
		O_2	3552 (4,7)	H
3636 (5)	3636 (2)	N_2	3635 (4,24)	L. B. H.
		O_2	3631 (1,6)	H
		O_2	3637 (3,7)	H
3740 (5)	3742 (4)	N_2	3753 (5,14)	V. K.
		O_2	3742 (1,17)	S. R.
		O_2	3733 (0,6)	H
		O_2	3737 (4,8)	H
3835 (7)	3834 (4)	N_2	3845 (6,15)	V. K.
		N_2	3833 (0,21)	L. B. H.
		O_2	3841 (0,17)	S. R.
		O_2	3828 (1,7)	H
		O_2	3831 (3,8)	H

(1) Abbreviations : L. B. H., Lyman-Birge-Hopfield ; H, Herzberg ; V. K., Vegard-Kaplan ; S. R., Schumann-Runge.

available, identification by measured wavelengths remains uncertain. However, their spectrograms would undoubtedly be adequate for identification by direct comparison if any part of the spectrum could be duplicated in the laboratory.

Imperial College of Science and Technology,
South Kensington, London. 1947, April 28.

REFERENCES

C. T. Elvey, P. Swings and W. Linke, *Astrophys. J.*, **93**, 1941, p. 337.
D. Barbier, *Annales de Géophysique*, **1**, 1945, p. 224.
P. Swings, *Astrophys. J.*, **97**, 1943, p. 72.
V. M. Slipher, *Month. Not. R. Astr. Soc.*, **93**, 1933, p. 657.
R. Bernard, *C. R. Acad. Sci. Paris*, **200**, 1935, p. 2074.
R. Herman and L. Herman, *J. de Phys. et le Radium, Série VIII*, **7**, 1946, p. 203.

Note added in proof. — More recent work by Déjardin, Dufay and their collaborators has greatly strengthened the identification of the strong bands of the night-sky spectrum with bands of the Vegard-Kaplan system of N_2 and the Herzberg system of O_2 .Of the remaining bands Barbier suggests that the majority may be fitted into a new band system which may be an unknown system of CO with the ground state as lower level (D. Barbier, *Annales d'Astrophysique*, **10**, 1947, p. 47).

ÉTUDES SUR LES AURORES BORÉALES, EFFECTUÉES EN NORVÈGE DE 1939 A 1947

par

Carl Störmer

Dans la période 1939-1947 une série de mémoires ont été publiés par l'auteur parmi lesquels les suivants :

Results of the photogrammetric measurements of the Aurora Borealis during the Norwegian-French expedition to northeast Greenland 1938-1939. Geofysiske Publikasjonir, Oslo, Vol. 13, nº 12 et

Remarkable Aurora forms from southern Norway, III-IX, *Geofysiske Publikasjonir*, Vol 13, nº 7.

Dans ce dernier une série de formes intéressantes ont été mesurées. Un court extrait est publié dans les *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 1er décembre 1941 sous le titre : *Types remarquables d'aurores boréales observées dans la Norvège méridionale.*

Quant au travail systématique sur les Aurores boréales dans la Norvège méridionale depuis 1911, une note a été publiée dans le *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, december 1946 sous le titre : *Frequency of 12330 measured heights of Aurora from southern Norway in the years 1911-1944.*

Institutt for Teoretisk Astrofysik
Universitetet, Blindern, v. Aker.

29 mars 1947.

REPORT ON RECENT INVESTIGATIONS DEALING WITH SOLAR AND TERRESTRIAL RELATIONSHIPS

by

L. VEGARD

From the year 1938 up to the present time, the writer partly in collaboration with other scientists, has published a considerable number of papers dealing with such phenomena, which may give us information regarding Solar and Terrestrial Relationships. It is not possible in a short report to give a complete summary of each of these papers, some of which are fairly extensive. I have therefore adopted the plan first of all to give a list, with the title, of the more important papers published since 1938 within this branch of science and after that point out some of the most important new results. Most of the papers give results of spectrographic observations of the Aurorae, the Night sky and the Twilight luminescence taken partly at the Auroral Observatory, Tromsö and partly at Oslo.

LIST OF PUBLICATIONS

1. L. VEGARD and E. TÖNSBERG, The Temperature of the Auroral Region determined from Band Spectra, *Geofys. Publ.*, Oslo (*G. P.*), vol. XII, n° 3.
2. L. VEGARD, Vorgange und Zustände in der Nordlicht region, *G. P.*, vol. XII, n° 5, 1938.
3. L. VEGARD, Die Deutung der Nordlichterscheinungen und die Struktur der Ionosphäre, *Erg. d. Exakt. Nat. wiss.*, **17**, 1938, p. 229.
4. L. VEGARD, Atomic Lines in the Auroral Spectrum, *Nature*, **142**, 1938, p. 670.
5. L. VEGARD, Weak bands and Atomic Lines in the Auroral Spectrum, *G. P.*, **12**, n° 8, 1938.

6. L. Vegard, Some Recently detected important Variations within the Auroral Spectrum, *Terr. Magn.*, **45**, nº 1, 1940, p. 5.
7. B. Rypdal and L. Vegard, The Excitation Function of Nitrogen bands and their Bearing on Auroral Problems, *G. P.*, **12**, nº 12, 1939.
8. L. Vegard and E. Tönsberg. Origin of the Yellow Line in Twilight and the Night Sky Luminescence, *Nature*, **145**, 1940, p. 588.
9. L. Vegard, The Atmospheric Layer from which the Yellow Line in Twilight originates, *Nature*, **145**, 1940, p. 623.
10. L. Vegard, Continued Investigations on the Auroral Luminescence and the Upper Atmosphere, *G. P.*, **12**, nº 14, 1940.
11. L. Vegard and E. Tönsberg, Investigations on the Auroral and Twilight Luminescence including Temperature Measurements in the Ionosphere, *G. P.*, **13**, nº 1, 1940.
12. L. Vegard and E. Tönsberg, New Important Results relating to the Auroral Spectrum and the state of the Upper Atmosphere, *G. P.*, **13**, nº 5, 1941.
13. L. Vegard, Coronal Phenomena and their Relation to Solar and Terrestrial Processes, *G. P.*, **16**, nº 1, 1944.
14. L. Vegard and E. Tönsberg, Results of Auroral Spectrograms obtained at Tromsö Observatory during the Winters 1941-1942 and 1942-1943, *G. P.*, **16**, nº 2, 1944.
15. L. Vegard and G. Kvifte, Spectral Investigations of Aurorae and Twilight, *G. P.*, **16**, nº 7, 1945.

In the following we are giving a short summary of the problems delt with in these papers and some of the most important results.

By the spectral analysis of the auroral Luminescence, we have first of all to detect, measure and identify the bands and lines emitted. In addition to the Nitrogen bands (Neg. group, 1st and 2nd Pos group and ε-system from the metastable A-state of N_2) and the green and red lines from the metastable ground state of OI, a considerable number of weak lines appear most of which are referred to oxygen atoms in a neutral or ionised state and some to atomic Nitrogen [2, 3, 4, 5]. From spectrograms of fairly high dispersion obtained during the war, no less than 53 new weak lines were measured, most of which could be refered to OI, OII and OIII and probably some to Nitrogen atoms in the neutral or ionised state [12, 14]. Among the weak atomic lines appearing in the auroral spectrum, we may mention the nebular lines OIII (5006,8 and 4363), the line 3467 probably to be indentified with NI (P_{21}-$^1S_2$).

Further the OI-line 4368,2 and the OII-line 4415,1 appear quite distinctly [1, 2, 11].

In the paper No 15 the 170 bands and lines measured up to the present are tabulated and a probable interpretation is given.

Occasionally lines of the Balmer series and the yellow sodium line appear on the auroral spectrograms, but their intensity fluctuates [6, 10, 12] indicating that hydrogen and sodium from the sun enter into the upper atmosphere. The wavelengths of the green and the strongest red auroral line were measured with Fabry-Perot interferometer [10]. From spectrograms of considerable dispersion the wavelength of the weaker component of the red doublet was found to be $\lambda = 6364,3$ and the intensity ratio I_{6364}/I_{6300} of the components were found to be 0,347 in fairly good agreement with the theoretical value 0,333 [12, 14].

The variations of the intensity distribution within the auroral spectrum have been studied. The existence of effects previously detected has been confirmed by new observations and new effects detected and studied. *Taking the intensity of the strong green line as a standard of comparison, some of the effects can be stated in following way :*

a) The relative intensity of the neg. N_2-bands increases with altitude, and is enhanced in an atmosphere exposed to sunlight [3]. It diminishes towards lower latitudes and are larger for diffuse aurorae than for sharp and intensive forms.

b) The intensity of the red doublet (6300,3 6364) increases fairly rapidly with altitude [2, 3, 4] and when the aurorae are exposed to sunlight [3]. Its average relative intensity increases towards lower latitudes [6, 10], with the sunspot frequency and is greater for diffuse than for distinct and intensive auroral forms [3].

The red aurorae of type (A) is due to the enhancement of the red OI-doublet.

c) The intensity of the 1st positive group increases downwards along the ray streamers and gives the bottom edge of very low aurorae a red colour (red aurorae of type B).

d) A number of weak lines in blue and violet, some of which belong to the OII-spectrum, is enhanced towards higher altitudes [15]. This indicates that the relative concentration of singly ionised O-atoms increases upwards in the ionosphere.

Measurements of the temperature of the upper atmosphere by means of the energy-distribution of the rotational bands of the negative group of nitrogen, have been continued [1, 10, 11, 12, 14]. A summary of the results obtained up to the present is given in paper No 14.

The measurements corresponding to the maximum luminosity of aurora appearing in the night, gives an average temperature of — 40 - — 55° C, and this temperature corresponds to a height interval of say 100-150 km.

Spectrograms from aurorae exposed to sunlight did not give any noticeable increases of temperature [12].

We have also measured the temperature from spectrograms corresponding to the upper limit of the auroral streamers. No increase of temperature with increasing altitude, could be detected [10, 12, 14]. The method used should be reliable because great intensity variations with altitude have been found by the same procedure.

The fact discovered in 1923 that the negative nitrogen bands become increasingly dominating up to the top of auroral rays reaching altitudes of 600-800 km led to the view that the *atmosphere extends into a coronal structure produced* by the effect of a short wave radiation (soft X-rays) emitted from the sun. The process accompanying the absorption of this radiation accounted for the slow rate at which the density diminished upwards and explained the existence of two layers of maximum ionisation.

The discovery of the terrestrial coronal structure and its explanation lead to a theory of the solar corona described in some details in a paper (Det Norske Vid. Akad. Skr. I, No 2, 1928) published in connection with observations from the total solar eclipse in Norway June 29, 1927.

The structure of the terrestrial corona (ionosphere) was recently more fully dealt with in two papers [2, 3], where I tried to show that the theory proposed was in good agreement with the results from radio-wave measurements, and the ionising layers and their variations could be accounted for.

In a paper on the solar corona recently published [13] it was shown that the interpretation of the coronal lines by Edlén was in good agreement with the coronal theory previously given and with the supposed origin of the effective solar rays of short wavelenght.

In fact the emission of the coronal lines from highly ionised atoms proved the existence of soft X-rays as a part of the sun's radiation, and the existence of such a radiation forms the basis of the theory of the solar corona and of the terrestrial corona usually called the ionosphere.

The theory of the solar corona also explained the fact that only forbidden lines connected with metastable states and no permitted lines appear in the coronal spectrum.

At the auroral observatory (Tromsö) *spectrograms of the yellow sodium line in twilight* were obtained with a spectrograph with sufficient dispersion to give separation of the two components and the identity of the yellow twilight line with the sodium line was further established.

Series of twilight spectrograms were taken first from the Zenith then in a nearly horizontal direction. From observations taken at Oslo it was found [9] that the yellow sodium line in twilight was primarily excited by an ultraviolet solar radiation of a wave lenght in the region near $\lambda = 2500$ Å, which is absorbed below an altitude (H_s) of about 50 km. This screaning height coincides with the height, where the ozone concentration practically vanishes and the screaning effect is due to atmospheric ozone. Thus the ozone produces a shadow in the ultraviolet below the screening height, or a kind of twilight in ultraviolet.

At a height (H_u) of about 110-115 km, the excitation and emission of the yellow sodium line suddenly drops down to a lower order of magnitude. These results were confirmed by similar series of observations undertaken at the Auroral Observatory (Tromsö) [11] and by continued observations at Oslo the results of which were published in 1945 [15].

In the first papers [9, 11] the values of H_s and H_u were found by a partly graphical method. In the last paper [15] formulae were given for direct calculation of H_s and H_u.

The yellow line is also found in the auroral spectrum in fact also from the upper limit of long auroral rays appearing in the middle of the night, showing that sodium exists at altitudes far above the twilight limit (110-115 km) [15].

This fact and the considerable intensity fluctuations of the yellow D-line both in the aurora and the twilight spectrum [15] show that the sodium in these upper atmospheric regions does not originate from the earth, but comes in from space. The precipitation into the atmosphere of sodium and hydrogen may be due to the development of exceptionally long coronal streamers containing these substances.

Physical Institute, University, Oslo. March 1947.

RAYONS COSMIQUES

SOLAR INFLUENCES ON COSMIC RAYS

by

A. Duperier

Records of cosmic-ray intensity have been obtained by the writer in London in the last few years by making use of a battery of Geiger-Müller counters registering triple coincidences at the rate of about 26,000 per hour. No absorbers were used between the counter trays, but as preliminary experiments have shown the arrangement was not affected by radioactivity [1].

a) From the study of the hourly numbers of coincidences averaged in groups of 24 hours, it was found that the intensity of cosmic rays at the ground is closely related not only to the atmospheric pressure but also to the height of the 100 mb. pressure-level. The partial correlation of cosmic-ray intensity with the height of lower pressure-levels appears to be rather low though gradually increasing with height [2]. When the 100 mb. pressure-level is chosen — the highest for which sufficient meteorological data were available — this correlation reaches the value - 0.67. As the height of any pressure-level depends not only on the pressure at the ground but also on the distribution of temperatures in the air underneath, this result proves the effect of atmospheric temperature on cosmic-ray intensity at ground level. In agreement with this is the finding by Forbush [3] that the seasonal variations of ionization in Compton meters in the Northern and Southern hemispheres are out of phase. These results can be taken as confirming Blackett's theory [4] according to which the decrease of cosmic-ray intensity in warm weather is due to the greater distance through which the mesons have to travel to reach sea level, owing to the greater height of the pressure-level at which they originate.

b) A preliminary study of the solar daily variations of cosmic rays has been made [5] by arranging in six bi-monthly groups the data for 860 complete days during the period May 1941-April 1944, the material for each day consisting of 12 bi-hourly numbers of triple coincidences. The second and third columns of the accompanying table give, respectively, the average amplitude in percentage of the mean intensity and time of maximum of the apparent 24-hour wave for each of the six groups, and the mean after correcting for non-cyclic variation and pressure.

To ascertain the effect of daily change of temperature the upper-air data obtained in England by sending up radio sondes every six hours have been examined, and it has been found that, contrary to what had been generally supposed, the height of the 100 mb. pressure-level changes quite appreciably during the day and that this change is closely related to that of temperature. If the data recorded by the radio sonde are correct, then when long enough periods are considered it appears that a temperature change of 1° C. near the ground would imply a variation in cosmic-ray intensity of 0.1 % as measured by the counter arrangement. By correcting for this effect, the values given in the last two columns of the following table are obtained :

GROUP	AMPL.	$t_{max.}$	AMPL.	$t_{max.}$
1 (Jan.-Feb.)	0.23 %	16.3 h	(0.33 ± 0.04) %	15.7 h
2 (Mars-Apr.)	0.26	14.9	0.54 ± 0.04	14.7
3 (May-June)......	0.30	17.7	0.59 ± 0.04	15.8
4 (Jul.-Aug.)......	0.45	20.7	0.50 ± 0.05	18.3
5 (Sep.-Oct.)	0.28	20.4	0.34 ± 0.04	17.5
6 (Nov.-Déc.).....	0.22	16.5	0.32 ± 0.04	15.7
Mean	0.244	18.1	0.414 ± 0.018	16.3

The seasonal change which the table shows both before and after correcting for temperature is difficult to explain by any of the theories which have been suggested to account for the 24-hourly variation of cosmic rays. It can be taken as indicating that two variations are present, one really solar and the other according to sidereal time, which together determine the variation as observed. If it is further assumed that the seasonal

change affects only the amplitude, not the phase of the real solar variation, then as Thompson [6] has pointed out the two variations can be separated. On the basis of this hypothesis the sidereal variation is found to have an amplitude of 0.21 % with the maximum at about 21 hours sidereal time.

As for the solar amplitude, it is found that the minimum seems to occur in December and the maximum in June, with the values of 0.06 and 0.77 per cent, respectively. Such a seasonal change suggests that the solar variation is closely controlled by the sun, though it is difficult to see through what agency the sun exerts its influence. However, the fact that the ratio of the amplitudes for June and December has roughly the same value as the ratio of the squared cosines of the zenith distance of the sun seems to indicate that the solar variation might be due to penetrating particles coming from the sun.

It is therefore possible that the sun regularly emits cosmic rays. The intensity in June at 16 hours, the time of maximum, should represent 1.5 % of the total cosmic-ray intensity as measured at the ground.

c) The harmonic analysis of the same data has revealed the existence also of a significant 12-hourly variation in cosmic rays [7], the amplitude of which at the equinoxes (0.22 %) is greater than that at the solstices (0.16 %) with the times of maxima in both cases at about 3 and 15 hours, i. e. nearly opposite in phase to the semi-diurnal barometric oscillation. These results led the writer to suggest that the 12-hour wave in cosmic-ray intensity could be explained by the up and down motion of the meson generating layer, provided this layer is in the region of the atmosphere where the motion is in phase with the barometric oscillation near the ground. According to Pekeris' theory [8] this region extends from the ground up to about 30 kms, but by the same theory the vertical motion of any pressure-level in this region appears to be too small to account for the cosmic-ray variation. However, taking into account that the barometric oscillation as shown by Chapman [9] is not only tidal but thermal also in character it would be interesting to see how the new result concerning the daily change of temperature in the stratosphere, previously mentioned, affects the results of Pekeris' theory.

Hess [10], Forbush [11] have reported, from data obtained with lead-shielded ionisation chambers, the finding also of a small

12-hourly variation but with the maxima at about 1 and 13 hours. It is easy to see, however, that had their data not been corrected for pressure before the analysis, the times of maxima would have been more in accordance with those found by the writer.

On the other hand Barnóthy and Fórro [12] by using counters with 36 cms of lead in between, and Regener and Rau [13] with ionisation chambers under 40 m of water have found a semi-diurnal variation with the first maximum between 9 and 11 hours, nearly in phase with the barometric oscillation. Regener and Rau have suggested that this variation could be explained in terms of meson decay also by supposing the meson-generating layer somewhere in the region of the atmosphere above 30 kms. The vertical motion in this region may be, according to Pekeris, theory, sufficient to account for the cosmic-ray variation, but it seems that difficulties arise with regard to the magnitude of the cross-section for meson production.

In the light of these results it was thought of interest to ascertain whether the lunar atmospheric tide has any appreciable effect on the intensity of cosmic-rays. To ascertain this the data for the period mentioned above were used. From these data, using the method developed by Chapman and Miller [14], a lunar semi-diurnal variation was found, whose amplitude, however, is only double the probable error [15] : The writer hopes to repeat this computation using more data.

d) In the last few years cumulative evidence of the influence of solar activity on cosmic-ray intensity has been gathered.

The magnetic storm of 1 March 1942 provides a most remarkable example on account of the magnitude of the effect. As observed in London [16], a regular decrease in the number of coincidences began shortly before the onset of the storm ; during the storm it reached the unusually high value of about 11 per cent. After the first rapid recovery of about half the initial drop, which nearly coincided with the end of the storm, the recovery was very slow. The changes in cosmic-ray intensity at Godhavn (Greenland), Cheltenham (Maryland), Huancayo (Peru), and Christchurch (New Zealand) during the same storm were, as reported by Lange and Forbush [17], strikingly similar in respect both of the magnitude of the drop and phase of recovery.

Judging, however, from the magnitude of the range in H, the magnetic storm was not as intense as some others which have been accompanied by a much less violent disturbance in cosmic-

rays. The range in H of the great magnetic storm of 4 July 1941 was, from the Abinger traces, about twice the range of the storm of 1 March 1942. Nevertheless, no appreciable effect on cosmic-ray intensity was shown by the records obtained in London for the 40-hour period following the abrupt commencement of the storm. But that some magnetic storms have no appreciable effect on cosmic-ray intensity had already been observed [18].

As a counterpart of this fact the observations made in England show that sometimes at periods of solar activity a drop of 6 per cent or more in cosmic-ray intensity occurs which is not accompanied by any appreciable decrease in the horizontal force. This was the case during the period of the great sunspot group January 29-February 12, 1946. Both the records taken in London and Manchester [19] showed that on February 5 and 6 when no appreciable decrease in H was observed the intensity of cosmic-rays had decreased 6 per cent relatively to the mean value prevailing at the time of the appearance of the sunspot group. The magnetic storm commenced at 07.30 on February 7 and additional decrease of 5 % took place.

These facts illustrate the complexity of these phenomena, for which no satisfactory explanation seems to have yet been found.

Other interesting features of the relationship between cosmic-rays and solar activity are the great cosmic-ray increases which were observed simultaneously in different parts of the world on 28 February 1942, 7 March 1942 and 25 July 1946 [7] [17] [20] [21]. From the fact that each of the three increases began nearly simultaneously with a solar flare, Forbush in a recent paper [21] after making the analysis of the phenomenon has been led to suggest that the three increases in cosmic-ray intensity may have been caused by charged particles emitted by the sun with sufficient energy to reach the earth at mean geomagnetic latitudes.

If the regular emission of cosmic rays by the sun, as suggested by the writer, is confirmed, it would not be surprising to have an outburst of charged penetrating particles at the time of an intense solar flare, though of course difficulties arise to explain both types of emission in our present state of knowledge.

Department of Physics
Imperial College of Science and Technology
London.

April 1947.

REFERENCES

1. Duperier, *Terr. Mag.*, **49**, 1944, p. 1.
2. Duperier, *Nature, Lond.*, **153**, 1944, p. 529.
3. Forbush, *Phys. Rev.*, **54**, 1938, 986.
4. Blackett, *Phys. Rev.*, **54**, 1938, p. 973.
5. Duperier, *Nature Lond.*, **158**, 1946, p. 196.
6. Thompson, *Phys. Rev.*, **55**, 1939, p. 11.
7. Duperier, *Proc. Phys. Soc.*, **57**, 1945, p. 468.
8. Pekeris, *Proc. Roy. Soc. A.*, **158**, 1937, p. 650.
9. Chapman, *Z. J. R. Met. Soc.*, **50**, 1924, p. 165.
10. Hess, *Terr. Mag.*, **41**, 1936, p. 9 and p. 345.
11. Forbush, *Terr. Mag.*, **42**, 1937, p. 1.
12. Barnóthy and Fórro, *Z. Physik*, **104**, 1947, p. 534.
13. Regener and Rau, *Naturwiss*, **27**, 1939, p. 803.
14. Chapman and Miller, *Month. Not. Roy. Ast. Soc. Geophys. Supp.*, **4**, 1940, p. 649.
15. Duperier, *Nature, Lond.*, **157**, 1946, p. 296.
16. Duperier, *Nature, Lond.*, **149**, 1942, p. 779.
17. Lange and Forbush, *Terr. Mag.* **47**, 1942, p. 331.
18. Forbush, *Terr. Mag.*, **43**, 1938, p. 203.
19. Duperier and Mc Caig, *Nature, Lond.*, **157**, 1946, p. 477.
20. Dolbear and Elliot, *Nature, Lond.*, **159**, 1947, p. 58.
21. Forbush, *Phys. Rev.*, **70**, 1946, p. 771.

CENTRALISATION ET PUBLICATION DES DOCUMENTS SUR LE SOLEIL POUVANT INTÉRESSER LES GÉOPHYSICIENS

SOLAR METEOROLOGY

by

Giorgio ABETTI

The discovery and observations of solar phenomena are increasing every day in importance, as well for the research on the sun's physics, as for the influence that they have on various terrestrial phenomena. To the simple visual observations of spots and faculae, in the course of the time were added the visual ones of prominences with wide slit, later those photographic in various monochromatic radiations and more recently those of the inner corona by means of Lyot's methods taken at high altitude stations. Consequently the possibilities to investigate the solar phenomena are considerably increased, although if these remain necessary limited to the knowledge of the phenomena appearing on the upper layers of the sun's atmosphere for a very small depth; therefore it is easy to foresee that many other phenomena escape until now to our means of observation. This fact is also proved by the periodic renewal of the terrestrial phenomena, certainly dependent from the solar ones, which for us remain invisible. The efforts to find a correlation between the two are well known; some are certain, some uncertain, others yet probably unknown.

The types of phenomena which until to day we can observe and record are the following : *a*) visually and photographically the spots and the faculae, of the first the frequency is recorded with the well known « relative numbers » or « Wolf's numbers » or the area measured on the photographs ; *b*) with the spectroheliograph and the spectrohelioscope the bright and dark flocculi in the monochromatic lines of hydrogen (Hα) or of ionized

calcium (K_{23}). The bright flocculi are called in french *plages faculaires*, the dark ones : *filaments*. The nomenclature english or italian is certainly preferable, as not to confuse them with the faculae, as well because the dark flocculi often do not present the shape of filaments; *c*) with the spectroheliograph and with the spectrohelioscope the so called « chromospheric eruptions », better called now « flares » ; *d*) with the spectroscope and widened slit visually, or with the spectroheliograph the prominences around the limb ; *e*) with the Lyot's methods, the intensity of the emission lines of the corona.

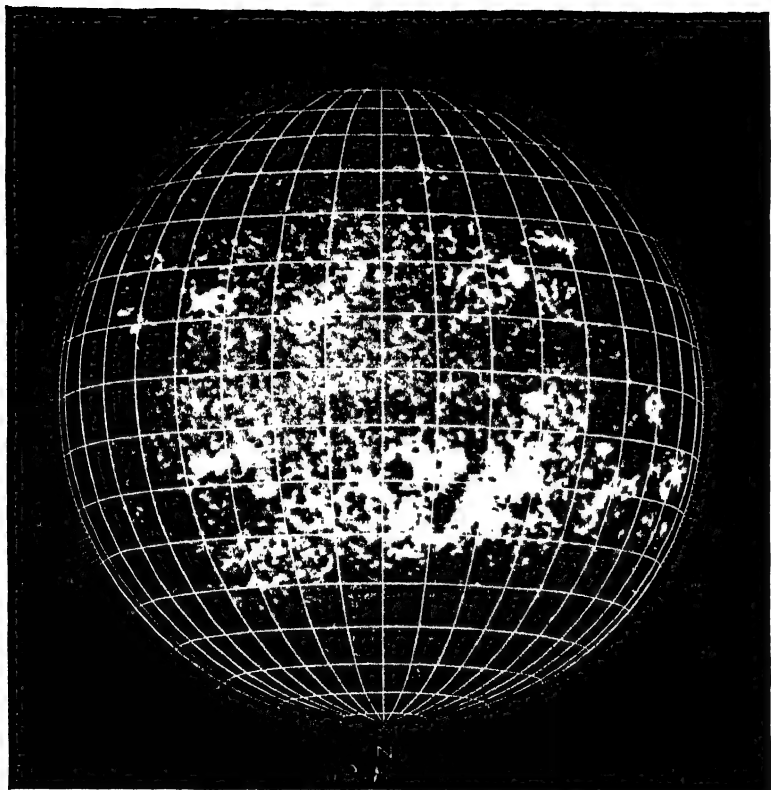
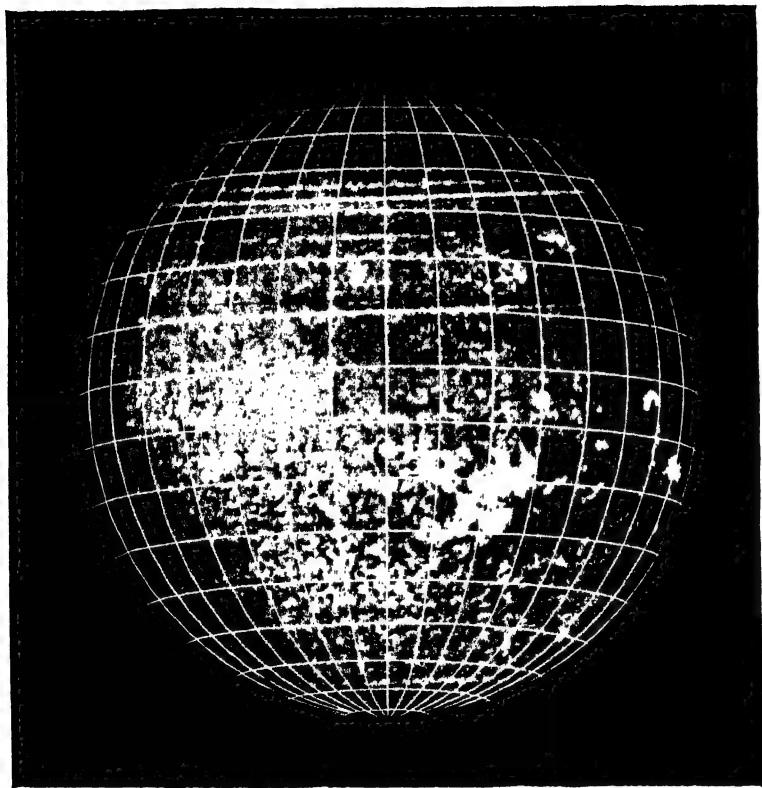
Various and numerous are the publications, which more or less rapidly, sometime with delay of years, give informations of these solar phenomena. Let us remember the principal ones : *a*) the *Astronomische Mitteilungen der eidgenössischen Sternwarte Zürich*, founded by Rudolf Wolf, which gives annually the Wolf's relative numbers and the distribution of the spot-groups, of the faculae, of the prominences with their area and in these last years also the corona's intensity; *b*) the *Quarterly Bulletin of solar activity*, published under the auspices of the International astronomical Union from the Zürich Observatory. In this Bulletin are given the data from 1917 to 1944 and the so called « characretistic figures » for the bright and dark calcium and hydrogen flocculi on an empiric scale from 0 to 5, which is related to the area and intensity of the said flocculi. Having the experience proved that these numbers do not give any more useful information, than that given by the spot's numbers from 1944 in the Bulletin, only these numbers are given and then the appearing and disappearing of the flares, their coordinates and intensity on an empiric scale of area and intensity from 1 to 3 ; *c*) the « heliographic charts », which represent the activity's centres of spots and prominences in cylindric equidistant projection from 0° to $\pm 50^{\circ}$ of latitude for each synodic rotation, together with other statistical data concerning the spots, edited in the publication of the Zürich federal Observatory ; *d*) the « synoptical charts » of the chromosphere and spots published for each synodic rotation of the sun from 1919 by the Observatory of Meudon under the auspices of the I. A. U., which give in equidistant cylindric projection, from 0° to $\pm 60^{\circ}$ of latitude, by means of conventional signs a schematic representation of number, area and intensity of the spots, of the bright and dark flocculi in calcium and hydrogen light for each synodic rotation and a

list of the more important prominences ; *e*) the yearly summaries of the prominence observations and of the chromosphere's height edited in the *Osservazioni e memorie dell'Osservatorio astrofisico di Arcetri.* In these summaries are given the mean diurnal areas, for each zone of 5o latitude, and the total diurnal area of the prominences observed visually in various observatories, also the height of the chromosphere visually measured with the spectroscope (radial slit) on the Hα line ; *f*) the monthly summaries of the observations on the magnetic fields of the spots made a Mount Wilson and regularly published in the « Publications of the astronomical society of the Pacific ». In these summaries, for each sunspot group are given the coordinates, intensity and polarity of their magnetic field ; *g*) the « solar phenomena », yearly published in the « Annals of the astronomical Observatory of the University of Coimbra ». In tables are given the coordinates and area of the spots and prominences at the limb and monthly two photographic prints of spectroheliograms in the line K_3 ; *h*) the « Photoheliographic Results » yearly published in the « Observations made at the Royal Observatory Greenwich » which give for each day coordinates and area of spots, and faculae measured on the direct photographs of the sun. Several other observatories, the list of which will be omitted here for sake of brevity, give more or less regularly similar data, but is clear that in this way a rich material is collected, which as for the study of the solar physics, as well for the researches of the correlations between the solar and terrestrial phenomena are of great importance. It is therefore necessary to improve and coordinate the international cooperation for which specially our committee on solar and terrestrial relationships is responsible, so as to reach a suitable distribution in longitude, around the world, of the various observatories and sun stations in order to secure the continuous observations of the sun for all the 24 hours of the solar day. Moreover, as in general all these publications are published with more or less delay, in some cases of years, while it is always more and more felt the necessity of an immediate or quick knowledge of the state of solar meteorology, similarly to what is being done for the terrestrial meteorology, it is necessary to devise in which way it is convenient to do this.

If a central bureau could collect rapidly, by means of a conventional cipher, the data transmitted by the various observatories of the world, there could be compiled the synoptic charts repre-

senting daily the meteorological state of the sun. Instead of transmitting the relative numbers, which, owing to the way in which they are computed, cannot be sufficiently precise and homogenous, it should be possible to get a complete and general description of the various solar phenomena, of their intensity, of their actual position on the visible disc of the sun. On this can be drawn the « Stonyhurst sun disc » of the date, so that the coordinates of the various phenomena can be at once noted with the addition of remarks for the more important their characteristics. Naturally it could be better to print the original spectroheliograms as is made in Coimbra, but this is probably not practical, owing to the time necessary to transmit them from the various observatories to the central bureau, but this could also be provided with an instrumental suitable equipment in order to adjourn and complete the diagrams.

By all means a schematic drawing on the type of the « synoptic charts » of Meudon, but in prospective orthographic projection as the Stonyhurst discs, completed with all the available data, relating also to the prominences at the limb and inner corona will enough for the purpose. A type of these diagrams is represented in Pl. III and IV which are prints of spectroheliograms made at the sun tower at Arcetri by M. C. Ballario. On these should be added the prominences at the limb and the data concerning the inner corona.

Giving the various characteristics presented by the solar phenomena and specially those, which to day we know are more important for the effect which they have on the earth and on its atmosphere, it is necessary to determine with sufficient precision their position, frequency and intensity. Already from the time of Carrington (1859) it was noted that not only the spots but also the exceptional eruptions, then visually observed, as zones of intense luminosity, had a response on the earth and later with the spectroheliograph and spectrohelioscope these relationships have been better understood [1]. In the year 1936 [2], I tried to prove that on the solar regions, called *M* by Bartels, are often found, corresponding to the days magnetically perturbed, some zones covered by bright and dark flocculi, that is prominences projected on the sun disc, which last generally for so many rotations as those for which the perturbation of the terrestrial magnetism is present. Ten years after (1946), this fact has been confirmed by Waldmeier [3], who has also put in evi-

Arcetri sun's tower spectroheliogram in K_{23}. April 8, 1947 ; $13^h 20^m$ T. U.

Arcetri sun's tower spectroheliogram in H_{α}. April 8, 1947 ; $14^{h}35^{m}$ T. U.

dence a correlation with the sun regions in which the emission lines of the corona are exceptionally bright.

As for the spots, in the same way for the dark and bright flocculi and for the flares, it is necessary to determine, beside the area, also the intensity with photometric precise measurements, because these data supply elements to judge the importance of the solar outburst and therefore the possible effect on earth conditions.

In 1937 Waldmeier [4] attempted a classification for increasing intensity of the hydrogen flocculi from the dark to the bright ones, in which he indicates with e_1, e_2, e_3, the eruptions or flares. According to this classification $_1e$ are small eruptions, which appear suddenly on or near the flocculi, arriving in a few minutes to an intensity little greater than that of the usual bright flocculi ; generally they are like a point, round, rarely more extended. With e_2 are indicated the great eruptions which usually appear on the great sunspot groups ; they are much more seldom of the e_1 and their extension is generally greater ; e_3 are the brilliant eruptions of a great extension, these appear rarely in the sunspot groups generally at their birth.

In order to establish better this classification we may consider the photometric measurements of intensity of these phenomena as, for instance, those of Arcetri and Greenwich. From those of Arcetri [5] which constitute an homogeneous work for the bright flocculi of hydrogen and calcium, results that the mean intensity of these extended on the spot zones and also outside of these, oscillate between the values 0.4 and 0.5 of the continuous spectrum emitted by the nearby solar regions. To speak of flares it is therefore necessary to rise to higher values of the intensity of the flocculi. Specially from the measurements of Colacevich and Viaro, we can identify the flares of an intensity which can be considered that of the Waldmeier's e_1 eruptions, around 0.65 of the continuous spectrum, so that it should be possible to define the intensity 1, employed for the flares registred in the Zürich Quarterly Bulletin, for those points which have an intensity included between 0.60 and 0.75 of the continuous spectrum. Number 2 could be given to those flares which intensity is included between 0.80 and 0.95 of the spectrum and number 3 to those with intensity 1 or greater than one of the continuous spectrum. In the Arcetri's measurements we reached an intensity from 2 to 4 times that of the continuous

spectrum (including those made on eruptions observed at the sun's limb) [6]. In the eruptions observed at the limb when the flares can be probably identified with prominences of class III of Pettit [7], it is possible, as we have already pointed out [8], that intensities greater than those on the disc can be measured, owing to instrumental conditions and diffuse light, in any case it is certain that the flares of intensity greater than the continuous spectrum, are rather seldom phenomena and therefore of considerable importance for the effects on terrestrial phenomena. The area also must be given ; this could be taken in account by means of a factor for which could be multiplied the intensity to give a number corresponding to the importance of the phenomenon ; or the area can be given separately as for the spots. In the synoptic charts, which represent the meteorological diurnal conditions of the sun, can be given in this way more precise informations, more independent from the various instruments and methods of observation, as in order to value the solar phenomena with reference to the others, as well for the importance that they may assume concerning the correlation with the terrestrial phenomena.

We want to conclude mentioning that the central bureau to collect the solar observations, could find a suitable place in the buildings erected for the Tuscolo's observatory in the Roman Castles at 25 km from Rome, which have never been finished having been interrupted by the war. The central bureau under the auspices of UNESCO could be organized at Tuscolo in the scheme of the international observatories of which it has been word in recent international meetings and should have as principal work to collect the sun's observations made in all parts of the world, and therefore also the ones made at high altitude stations, essential for the observation of the coronal phenomena, as well the observations of the various geophysical phenomena related with the solar ones. Moreover the Tuscolo's central bureau could be provided with instruments suitable for the solar researches (it has been already provided to adapt a vertical sun-telescope in the principal building) and also geophysical instruments so that, not only the required data could be collected, but also integrated and completed in proper way, ready to be divulgated with the most rapid means.

The utility and necessity of such an institution will be more and more felt in a near future and will be undoubtly increase

our knowledge of the solar phenomena and their relationships with the terrestrial ones.

Osservatorio di Arcetri,
Firenze, Italia.

August 1947.

REFERENCES

1. See for instance : *Handbuch der Astrophysik*, **4**, 1929, p. 210.
2. Ricorrenza periodica dei fenomeni solari e delle perturbazioni del magnetismo terrestre, *Oss. e Mem. Arcetri*, fasc. 54, 1936, p. 19.
3. Sonnenflecken und ihre terrestrische Wirkungen, *Experientia*, II/9, Basel, 1946.
4. Chromosphärische Vorgänge bei der Entstehung von Sonnenflecken, *Zeitschrift für Astrophysik*, **14**, 1937, p. 91.
5. *Oss. e Mem. Arcetri*, fasc. 57, 1939, p. 38 ; fasc. 59, 1941, p. 53.
6. *Oss. e. Mem. Arcetri*, fasc. 58, 1939, p. 41.
7. The properties of solar prominences as related to type, *Contr. Mount Wilson Observ.*, nº 679, 1943.
8. *Oss. e Mem. Arcetri*, fasc. 58, 1939, p. 50.

SUR LES MANIFESTATIONS DE L'ACTIVITÉ SOLAIRE SIGNALÉES DANS LES NOUVEAUX MESSAGES RADIO-DIFFUSÉS PAR LE BUREAU IONOSPHÉRIQUE FRANÇAIS

par

L. d'Azambuja

Je me propose d'ajouter ici quelques détails aux brèves indications données dans l'Introduction du présent Rapport (p. 11) sur ces manifestations et les conventions adoptées pour signaler leurs caractères principaux.

1. Rappelons d'abord que nous désignons par l'expression *centre d'activité* le complexe taches, facules, plages faculaires, les plages étant, si l'on veut, des *facules chromosphériques*, observables seulement en lumière monochromatique, plus diffuses et étendues que les facules de la surface, mais reproduisant fidèlement leurs formes générales.

On sait que l'évolution d'un centre d'activité obéit à des règles qui changent peu d'un centre à l'autre : formation, en quelques heures, d'une petite plage faculaire très intense dans laquelle des taches apparaissent presque aussitôt ; développement parallèle, pendant cinq à huit jours, habituellement, de la plage et des taches ; puis, diminution progressive et disparition de celles-ci, pendant que la plage continue à s'étendre en perdant graduellement son éclat ; enfin, disparition de la plage au bout de deux rotations solaires (54 jours), en moyenne. C'est presque exclusivement pendant la phase de croissance que se produisent les éruptions chromosphériques. Elles sont, en général, plus nombreuses et plus fortes dans les centres importants.

Nous avons convenu de signaler la présence sur le disque des centres d'activité assez *jeunes* pour qu'on ait quelques chances

d'y observer des éruptions, c'est-à-dire, pratiquement, pendant les dix premiers jours environ qui suivent leur formation, pour les centres d'importance moyenne. Ce procédé comprend évidemment l'annonce des centres nouveaux et de l'apparition au bord est de ceux qui se sont formés dans l'hémisphère invisible. L'âge, quand la formation a eu lieu sur le disque, est indiqué dans chaque message.

Il a paru nécessaire de donner la position approximative des centres afin, notamment, de pouvoir les identifier d'un message à l'autre. Pour économiser les signes représentatifs des coordonnées dans le code (1), les distance angulaires au méridien central ont été divisées en neuf fuseaux de 10° chacun, de part et d'autre du méridien central et, de même, en zones de 10°, les latitudes héliographiques. La discrimination entre les hémisphères se faisant à l'aide de l'indicatif, chaque coordonnée a pu ainsi être définie par un seul chiffre, à $\pm$ 5° près. Enfin, l'importance des centres a été cotée dans une échelle de 1 à 3.

II. Les disparitions brusques de protubérances qui, à l'époque où il n'était encore possible de les observer qu'extérieurement au bord solaire, avaient semblé exceptionnelles, se sont révélées comme beaucoup plus fréquentes quand les progrès des spectrohéliographes ont permis de les déceler pour des phénomènes visibles en projection sur le disque. En fait, les recherches les plus récentes [1] [2], ont montré que la disparition brusque est une phase normale dans l'évolution des protubérances. Deux fois sur trois, d'ailleurs, elle n'est pas définitive et, après quelques jours, on voit reparaître la protubérance, qui finit par reprendre sensiblement l'aspect et la position qu'elle avait auparavant. La disparition s'accomplit en quelques heures. Elle s'accompagne de mouvements d'ascension rapides des particules lumineuses [3], dont la vitesse a dépassé parfois la vitesse limite au delà de laquelle ces particules ne peuvent plus retomber sur le Soleil.

Déjà, en 1909, H. Deslandres avait attiré l'attention [4] sur la coïncidence entre la disparition d'une grande protubérance, près du méridien central du Soleil et l'important orage magnétique du 25 septembre. H. W. Newton a fait une constatation analogue pour l'orage des 10-12 septembre 1935 [5]. De mon côté j'ai, dans l'un des rapports de cette Commission [6], signalé

---

(1) Le code est expliqué dans le *Bulletin d'information* n° 4 (avril 1947) du Bureau ionosphérique français.

l'intérêt de poursuivre la recherche de ces phénomènes. C'est pourquoi l'occasion a semblé favorable d'utiliser le message quotidien pour les signaler systématiquement. Les indications, dans chaque cas observé, comprennent : les coordonnées du milieu de la protubérance alors qu'elle n'était pas encore affectée par la perturbation, et par le procédé adopté pour les centres d'activité ; l'intervalle de temps séparant les deux observations entre lesquelles la disparition a été constatée ; l'importance de la masse de vapeur disparue, dans une échelle de 1 à 3.

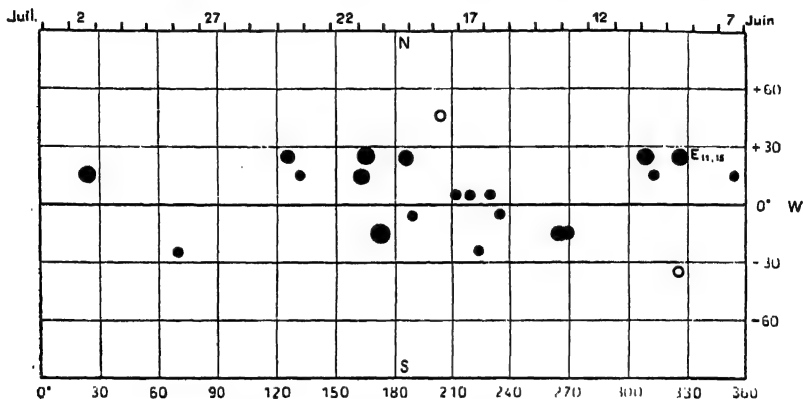



Fig. 1. — Phénomènes solaires signalés par ursigrammes pendant la rotation de Carrington n° 1254 (juin-juillet 1947).

● Centres d'activité.
o Disparition brusque de protubérances.
●E Centre d'activité avec éruption.

III. En ce qui concerne les éruptions, les indications données comprennent : les coordonnées, toujours comme pour les centres d'activité, de sorte que l'on peut identifier immédiatement ceux de ces centres où les phénomènes se sont produits ; l'importance, dans l'échelle de 1 à 3 en usage dans le « Quarterly Bulletin » ; dans le cas d'éruptions exceptionnelles signalées à Meudon, l'importance est remplacée par l'indicatif de l'Observatoire informateur ; enfin, l'heure où le phénomène a été observé pour la première fois à la minute et en T. U., un indicatif spécial permettant de reconnaître si cette heure correspond au début de l'éruption ou à celui de l'observation.

Ces divers renseignements sont récapitulés à la fin de chaque mois dans le *Bulletin d'information du Laboratoire national français de Radio-électricité.* Il nous a paru utile de les compléter par une carte schématique, du modèle reproduit ci-contre, où se retrouvent, avec leurs coordonnées héliographiques, les phénomènes signalés quotidiennement. La carte correspond à une rotation de Carrington. Chacun peut d'ailleurs aisément la construire pour lui-même, au jour le jour, en utilisant les données des messages.

Les messages relatifs à la couronne donneront l'intensité, pour chaque jour d'observation, et en unités absolues rapportées à l'intensité au centre du disque, de la raie verte et, si possible, des raies jaune et rouge, pour vingt-quatre secteurs de 15°, comptés du nord vers l'est, à partir du pôle nord du Soleil.

Observatoire de Meudon. Juin 1947.

BIBLIOGRAPHIE

1. M. WALDMEIER, *Zeitschrift für Astrophysik*, **15**, 1938, p. 299 et **18**, 1939, p. 241.
2. Mme D'AZAMBUJA, *Comité national français d'Astronomie*, 1946 (sous presse).
3. E. PETTIT, *Publications of the Yerkes Observatory*, **3**, partie 4, 1925.
4. H. DESLANDRES, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, **150**, 1910, p. 65.
5. H. W. NEWTON, *The Observatory*, **59**, 1936, p. 51.
6. L. D'AZAMBUJA, 3e *Rapport de la Commission pour l'étude des relations entre les phénomènes solaires et terrestres*, 1931, p. 37.

TABLE DES MATIÈRES

2203. — IMPRIMÉ EN FRANCE A L'IMPRIMERIE NOUVELLE, ORLÉANS. — 3-1948
O. P. I. A. C. L. 31.0427
DÉPOT LÉGAL : 1er TRIMESTRE 1948.